



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL



Luisa Maria Horta Maia

COTRATAMENTO DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO E ESGOTO
DOMÉSTICO EM REATORES UASB – ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO
APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE BIOGÁS EM SERGIPE

São Cristóvão –SE

2020

Luisa Maria Horta Maia

COTRATAMENTO DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO E ESGOTO
DOMÉSTICO EM REATORES UASB – ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO
APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE BIOGÁS EM SERGIPE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Sergipe, como requisito necessário à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil na subárea Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Moureira Fontes Lima

São Cristóvão – SE

2020

É concedida à Universidade Federal de Sergipe permissão para reproduzir cópias desta dissertação e emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste trabalho acadêmico pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Assinatura

MAIA, Luisa Maria Horta

Cotratamento de Lixiviado de Aterro Sanitário e Esgoto Doméstico em reatores UASB – estudo da viabilidade econômica do aproveitamento energético de biogás em Sergipe/ Luisa Maria Horta Maia – São Cristóvão: UFS/PROEC, 2020.

137 p.: il.

Dissertação (mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão.

I. Universidade Federal de Sergipe/Sergipe. PROEC

II. Título.

Luisa Maria Horta Maia

COTRATAMENTO DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO E ESGOTO
DOMÉSTICO EM REATORES UASB – ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO
APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE BIOGÁS EM SERGIPE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Sergipe, como requisito necessário à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil na subárea Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos.

Aprovado em: 30 de novembro de 2020.

Banca Examinadora:

_____ Nota: _____

Prof. Dr. Daniel Moureira Fontes Lima – Universidade Federal de Sergipe
(Presidente – Orientador)

_____ Nota: _____

Prof. Dr. Rafael Brito de Moura – Universidade Federal de Alfenas
(Examinador 1)

_____ Nota: _____

Prof^ª. Dr^ª. Luciana Coêlho Mendonça – Universidade Federal de Sergipe
(Examinador 2)

Agradecimentos

Nessa etapa da minha vida aprendi lições valiosas que levarei para sempre. Agradeço a todos que fizeram parte desta jornada.

Agradeço os meus pais, Iara e Jorge, que estiveram comigo em todos os momentos desta jornada, me dando forças sempre que necessário.

Agradeço aos meus irmãos, em especial a minha irmã Laís, que me ajudou a encontrar momentos de concentração em meio ao caos deste ano.

Ao meu namorado, Lauro, pelo companheirismo, incentivo e ajudas sempre que precisei.

Agradeço ao meu orientador, prof. Daniel M. F. Lima, pela imensa disponibilidade mesmo à distância, pela atenção, por compartilhar seus conhecimentos e principalmente, por me mostrar um exemplo de amor e dedicação à profissão.

Agradeço aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PROEC), em especial à prof^a. Luciana C. Mendonça por me orientar não só em relação ao trabalho, mas à vida.

Agradeço ao prof. José Jailton Marques por toda a disponibilidade e por me ensinar tanto.

Agradeço à Prof. Carina S. de Souza e Florilda V. da Silva que me acolheram no laboratório do Instituto Federal de Sergipe (IFS) e me orientaram de forma tão generosa. Agradeço também a ajuda da estagiária, Isadora que me acompanhou em tantas análises.

Agradeço a Tamires pelo auxílio durante os ensaios realizados no Laboratório de Saneamento e Meio Ambiente (SAMA).

Aos professores José Augusto Machado e João Baptista Severo Júnior que me orientaram em questões bem específicas de execução de experimento.

Ao engenheiro Erasmo G. Santos Júnior que trouxe a necessidade do tema estudado.

E finalmente à Camila F. Miranda que tornou esse trabalho possível, fornecendo dados fundamentais e orientação em várias etapas.

À CAPES pela concessão da bolsa de mestrado.

Muito obrigada!

MAIA, L. M. H. **Cotratamento de Lixiviado de Aterro Sanitário e Esgoto Doméstico em reatores UASB – estudo da viabilidade econômica do aproveitamento energético de biogás em Sergipe**. 2020. 156p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2020.

RESUMO

No Brasil, os aterros sanitários são a forma mais comum de disposição dos resíduos sólidos urbanos. Seu efluente líquido, o lixiviado de aterro sanitário, tem alta carga poluidora e deve ser tratado antes de sua disposição final. Seu tratamento em Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) é consolidado nos Estados Unidos, na Europa e no Japão. No Brasil, assim como na América Latina, são amplamente utilizados reatores de digestão anaeróbia (UASB), que têm como uma de suas características a produção de biogás, podendo ser utilizado para produção de energia elétrica. O Estado de Sergipe dispõe de um aterro sanitário que, atualmente, envia o seu lixiviado para uma central de tratamento de efluentes, na Bahia. Essa pesquisa tem como objetivo avaliar a viabilidade econômica da implantação de sistemas de aproveitamento de biogás nas ETEs, do Estado de Sergipe, já equipadas com reatores UASB, adicionando-se o lixiviado de aterro sanitário ao esgoto; em comparação com a viabilidade apresentada por Miranda (2018), que utilizou somente esgoto sanitário. Foram utilizados dados de caracterização do lixiviado produzido no aterro sanitário de Sergipe e dos esgotos brutos das estações avaliadas. A partir da literatura, definiu-se avaliar proporções de adição de lixiviado entre 0,5% e 5% ao esgoto sanitário. Utilizou-se o *software* ProBio 1.0 para estimar a geração de biogás em cada uma das proporções e, conseqüentemente, o potencial energético em cada uma das estações. Utilizando dados de parâmetros energéticos, determinou-se a economia mensal de energia gerada pelo uso do biogás. Na análise econômica, os valores presentes líquidos dos investimentos foram determinados para um horizonte de 25 anos, e seus tempos de retorno foram definidos por *PayBack* descontado. Mesmo com a adição do lixiviado, a produção de biogás ainda não é o suficiente para atender as próprias demandas energéticas diárias das ETEs, sendo a injeção da energia produzida à rede da concessionária a melhor opção. A implantação do sistema de aproveitamento, sem considerar a receita gerada pela cobrança do tratamento do lixiviado, mostrou-se economicamente viável para três das quatro ETEs. A ERQ Sul, a ERQ Oeste e a ETE Rosa Elze, com tempos de retorno do investimento de 11 anos e 10 meses, 12 anos e 11 meses e 19 anos e 7 meses, e valores presentes líquidos de R\$1.225.215, R\$1.001.668 e R\$208.732, respectivamente, para a proporção de 5% de lixiviado adicionado ao esgoto sanitário. Considerando a receita gerada com a cobrança do tratamento do lixiviado, todas as ETEs passariam a ter viabilidade no aproveitamento do biogás. Percebe-se que a adequação, somente da ERQ Sul, seria suficiente para receber o montante de lixiviado produzido no aterro sanitário de Sergipe em proporções menores do que 5%.

Palavras-chave: Chorume. – Biogás. - Digestão anaeróbia. - Energia.

MAIA, L. M. H. **Cotratamento de Lixiviado de Aterro Sanitário e Esgoto Doméstico em reatores UASB – estudo da viabilidade econômica do aproveitamento energético de biogás em Sergipe**. 2020. 156p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2020.

ABSTRACT

In Brazil, landfills are the most common form of municipal solid waste disposal. Its liquid effluent, the landfill leachate, has a rich polluting load and must be treated prior to final disposal. Combined treatment of landfill leachate at Wastewater treatment plants (WWTP) is widely used in the United States, Europe and Japan. In Brazil, as well as in Latin America, UASB anaerobic digestion reactors are largely used in the WWTPs, one of the characteristics of which is the production of biogas that can be used for the production of electricity. The State of Sergipe has a landfill that currently sends its leachate to an effluent treatment plant in Bahia. This research aims to evaluate the economic feasibility of implementing biogas recovery systems in the WWTPs that is already equipped with UASB reactors, in the State of Sergipe, adding the landfill leachate to the sewage in comparison with the feasibility presented by Miranda (2008), who used only sanitary sewage. Characterization data were used for the leachate produced at the Sergipe landfill and the sewage received at the stations. From the literature, it was decided to evaluate the proportion of leachate addition between 0.5% and 5% to the sanitary sewage. The ProBio 1.0 software was used to estimate the biogas generation in each of the proportions and, consequently, the energy potential in each of the stations. Using energy parameter data, the monthly energy savings generated by the use of biogas were determined. In the economic analysis, the net present values of the investments were determined for a 25-year horizon, and their return times were defined by discounted PayBack. Even with the addition of leachate, the production of biogas is still not enough to meet the daily energy demands of the WWTPs, the injection of the energy produced in the concessionaire's net being the best option. The implementation of the recovery system, without considering the income generated by charging for the leachate treatment, proved to be economically viable for three of the four WWTPs. The South WWTP, the West WWTP and Rosa Elze's WWTP, with return on investment times of 11 years and 10 months, 12 years and 11 months and 19 years and 7 months, and net present values of R\$ 1.225.215, R\$ 1.001.668 and R\$ 208.732, respectively, for the proportion of 5% of leachate added to sanitary sewage. Considering the income generated by charging for the leachate treatment, all the WWTPs would make the use of biogas viable. The renovation only of the South WWTP would be sufficient to receive the amount of leachate produced at the Sergipe landfill in proportions of less than 5%.

Key words: Leachate. - Biogas. - Anaerobic digestion. – Energy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fases da digestão anaeróbica e microrganismos envolvidos.....	4
Figura 2: Representação esquemática das rotas de conversão de DQO e dos fluxos de metano em reatores UASB.	13
Figura 3: Necessidade de tratamento do biogás conforme uso final.	15
Figura 4: ERQ Sul.....	24
Figura 5: ERQ Oeste.	24
Figura 6:ETE Barra.....	25
Figura 7: ETE Rosa Elze.	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais características físico-químicas do esgoto sanitário.	8
Tabela 2: Classificação do lixiviado conforme idade do aterro.	9
Tabela 3: Média da concentração de DQO dos efluentes de entrada e da vazão.	34
Tabela 4: Caracterização dos lixiviados de aterro sanitário.	36
Tabela 5: DQO do esgoto sanitário e DQO teórico das misturas em porcentagem do lixiviado do aterro sanitário de Sergipe com o esgoto sanitário nas estações que possuem reatores UASB.	37
Tabela 6: Dados de saída do <i>software</i> Probio 1.0 sobre a produção de biogás das ETEs em 3 diferentes cenários somente para o esgoto sanitário.	38
Tabela 7: Dados de saída do <i>software</i> Probio 1.0 sobre a produção de biogás das ETEs em 3 diferentes cenários para mistura de 0,5% de lixiviado de aterro sanitário e esgoto sanitário.	39
Tabela 8: Dados de saída do <i>software</i> Probio 1.0 sobre a produção de biogás das ETEs em 3 diferentes cenários para mistura de 1% de lixiviado de aterro sanitário e esgoto sanitário.	40
Tabela 9: Dados de saída do <i>software</i> Probio 1.0 sobre a produção de biogás das ETEs em 3 diferentes cenários para mistura de 2% de lixiviado de aterro sanitário e esgoto sanitário.	41
Tabela 10: Dados de saída do <i>software</i> Probio 1.0 sobre a produção de biogás das ETEs em 3 diferentes cenários para mistura de 3% de lixiviado de aterro sanitário e esgoto sanitário.	42
Tabela 11: Dados de saída do <i>software</i> Probio 1.0 sobre a produção de biogás das ETEs em 3 diferentes cenários para mistura de 4% de lixiviado de aterro sanitário e esgoto sanitário.	43
Tabela 12: Dados de saída do <i>software</i> Probio 1.0 sobre a produção de biogás das ETEs em 3 diferentes cenários para mistura de 5% de lixiviado de aterro sanitário e esgoto sanitário.	44

Tabela 13: Informações energéticas com o uso o motor-gerador de ciclo Otto escolhido para ETEs, somente para esgoto sanitário.	46
Tabela 14: Informações energéticas com o uso o motor-gerador de ciclo Otto escolhido para ETEs, com adição de 0,5% de lixiviado de aterro sanitário ao esgoto sanitário	46
Tabela 15: Informações energéticas com o uso o motor-gerador de ciclo Otto escolhido para ETEs, com adição de 1% de lixiviado de aterro sanitário ao esgoto sanitário.....	47
Tabela 16: Informações energéticas com o uso o motor-gerador de ciclo Otto escolhido para ETEs, com adição de 2% de lixiviado de aterro sanitário ao esgoto sanitário.....	47
Tabela 17: Informações energéticas com o uso o motor-gerador de ciclo Otto escolhido para ETEs, com adição de 3% de lixiviado de aterro sanitário ao esgoto sanitário.....	48
Tabela 18: Informações energéticas com o uso o motor-gerador de ciclo Otto escolhido para ETEs, com adição de 4% de lixiviado de aterro sanitário ao esgoto sanitário.....	48
Tabela 19: Informações energéticas com o uso o motor-gerador de ciclo Otto escolhido para ETEs, com adição de 5% de lixiviado de aterro sanitário ao esgoto sanitário.....	49
Tabela 20: Custos de investimento da ERQ Sul.	51
Tabela 21: Custos de investimento da ERQ Oeste.	52
Tabela 22: Custos de investimento da ETE Barra.	53
Tabela 23: Custos de investimento da ETE Rosa Elze.	54
Tabela 24: Custos com manutenção e reparo da ERQ Sul recebendo somente esgoto sanitário.	55
Tabela 25: Custos com manutenção e reparo da ERQ Sul recebendo mistura com 0,5% de lixiviado de aterro sanitário.....	56
Tabela 26: Custos com manutenção e reparo da ERQ Sul recebendo mistura com 1% de lixiviado de aterro sanitário.....	56
Tabela 27: Custos com manutenção e reparo da ERQ Sul recebendo mistura com 2% de lixiviado de aterro sanitário.....	57
Tabela 28: Custos com manutenção e reparo da ERQ Sul recebendo mistura com 3% de lixiviado de aterro sanitário.....	57

Tabela 29: Custos com manutenção e reparo da ERQ Sul recebendo mistura com 4% de lixiviado de aterro sanitário.	58
Tabela 30: Custos com manutenção e reparo da ERQ Sul recebendo mistura com 5% de lixiviado de aterro sanitário.	58
Tabela 31: Custos com manutenção e reparo da ERQ Oeste recebendo somente esgoto sanitário.	59
Tabela 32: Custos com manutenção e reparo da ERQ Oeste recebendo mistura com 0,5% de lixiviado de aterro sanitário.	59
Tabela 33: Custos com manutenção e reparo da ERQ Oeste recebendo mistura com 1% de lixiviado de aterro sanitário.	60
Tabela 34: Custos com manutenção e reparo da ERQ Oeste recebendo mistura com 2% de lixiviado de aterro sanitário.	60
Tabela 35: Custos com manutenção e reparo da ERQ Oeste recebendo mistura com 3% de lixiviado de aterro sanitário.	61
Tabela 36: Custos com manutenção e reparo da ERQ Oeste recebendo mistura com 4% de lixiviado de aterro sanitário.	61
Tabela 37: Custos com manutenção e reparo da ERQ Oeste recebendo mistura com 5% de lixiviado de aterro sanitário.	62
Tabela 38: Custos com manutenção e reparo da ETE Barra recebendo somente esgoto sanitário	62
Tabela 39: Custos com manutenção e reparo da ETE Barra recebendo mistura com 0,5% de lixiviado de aterro sanitário.	63
Tabela 40: Custos com manutenção e reparo da ETE Barra recebendo mistura com 1% de lixiviado de aterro sanitário.	63
Tabela 41: Custos com manutenção e reparo da ETE Barra recebendo mistura com 2% de lixiviado de aterro sanitário.	64
Tabela 42: Custos com manutenção e reparo da ETE Barra recebendo mistura com 3% de lixiviado de aterro sanitário.	64

Tabela 43: Custos com manutenção e reparo da ETE Barra recebendo mistura com 4% de lixiviado de aterro sanitário.	65
Tabela 44: Custos com manutenção e reparo da ETE Barra recebendo mistura com 5% de lixiviado de aterro sanitário.	65
Tabela 45: Custos com manutenção e reparo da ETE Rosa Elze recebendo somente esgoto sanitário.	66
Tabela 46: Custos com manutenção e reparo da ETE Rosa Elze recebendo mistura com 0,5% de lixiviado de aterro sanitário.	66
Tabela 47: Custos com manutenção e reparo da ETE Rosa Elze recebendo mistura com 1% de lixiviado de aterro sanitário.	67
Tabela 48: Custos com manutenção e reparo da ETE Rosa Elze recebendo mistura com 2% de lixiviado de aterro sanitário.	67
Tabela 49: Custos com manutenção e reparo da ETE Rosa Elze recebendo mistura com 3% de lixiviado de aterro sanitário.	68
Tabela 50: Custos com manutenção e reparo da ETE Rosa Elze recebendo mistura com 4% de lixiviado de aterro sanitário.	68
Tabela 51: Custos com manutenção e reparo da ETE Rosa Elze recebendo mistura com 5% de lixiviado de aterro sanitário.	69
Tabela 52: Tarifas de diferentes grupos tarifários envolvidos na análise.	69
Tabela 53: Resumo da análise energética das ETEs para cada proporção de lixiviado de aterro sanitário adicionado ao esgoto sanitário.	71
Tabela 54: Resumo da análise de viabilidade econômica na ERQ Sul e ERQ Oeste, com e sem a cobrança do tratamento do lixiviado de aterro sanitário.	73
Tabela 55: Resumo da análise de viabilidade econômica na ETE Barra e ETE Rosa Elze, com e sem a cobrança do tratamento do lixiviado de aterro sanitário.	74

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Comparativo de valores e parâmetros operacionais entre motores a gás de ciclo Otto e a diesel.....	17
Quadro 2: Valores assumidos pelo ProBio para os parâmetros de cálculo de estimativa de produção de biogás, de acordo com cada cenário.....	27

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

BDI – Benefícios e Despesas Indiretas

BNDES – Banco Nacional do Desenvolvimento

CAPEX – *Capital Expenditure*

CCTL - Com Cobrança pelo Tratamento do Lixiviado

COFINS – Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social

CNPJ – Cadastro Nacional da Pessoa Jurídica

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DESO – Companhia de Saneamento de Sergipe

DQO – Demanda Química de Oxigênio

EPA - *Environmental Protection Agency*

ERQ – Estação Recuperadora de Qualidade

ES – Esgoto Sanitário

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

FNR – *Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.*

GNV – Gás Natural Veicular

ICMS – Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços

IGP-M Índice Geral de Preços de Mercado

IFS – Instituto Federal de Sergipe

LAS – Lixiviado de Aterro Sanitário

NBR – Norma Brasileira

NTK – Nitrogênio Total Kjeldahl

OPEX – *Operational Expenditure*

PAC – Programa de Aceleração do Crescimento

PEAD - Polietileno de Alta Densidade

PGRS – Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos

pH – Potencial hidrogeniônico

PIS – Programa de Interação Social

PNRS – Plano Nacional de Resíduos Sólidos

ProBio - Programa de Estimativa de Produção de Biogás em Reatores UASB

RAFA – Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

SAMA - Laboratório de Saneamento e Meio Ambiente

Sanepar – Companhia de Saneamento do Paraná

SEFAZ – Secretaria da Fazenda

SCTL – Sem Cobrança pelo Tratamento do Lixiviado

SD – Sólidos Dissolvidos

SF – Sólidos Fixos

SS – Sólidos Solúveis

ST – Sólidos Totais

SV- Sólidos Voláteis

TDH – Tempo de Detenção Hidráulico

UASB – *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*

UFS – Universidade Federal de Sergipe

VPL – Valor Presente Líquido

WEF – *Water Environmental Federation*

SUMÁRIO

1	Introdução	1
1.1	Objetivos.....	2
1.1.1	Objetivo Geral	2
1.1.2	Objetivos específicos	2
2	Revisão da Literatura.....	3
2.1	Digestão Anaeróbia	3
2.1.1	Fatores que influenciam a digestão anaeróbia.....	4
2.2	Características do esgoto sanitário	7
2.3	Características do lixiviado de aterro sanitário	8
2.4	Codigestão anaeróbia	10
2.5	Biogás	12
2.5.1	Tratamento do biogás para aproveitamento	14
2.6	Geração de energia elétrica a partir do biogás	15
2.6.1	Injeção de energia elétrica na rede de distribuição	17
2.6.2	Características do sistema tarifário de energia elétrica.....	18
2.7	Outros componentes necessários no sistema de aproveitamento do biogás	19
3	Metodologia	22
3.1	Estações de tratamento de esgoto com reatores UASB.....	23
3.2	Misturas teóricas do lixiviado do aterro sanitário de sergipe com o esgoto sanitário de cada uma das eTEs avaliadas	25
3.3	Cálculo da estimativa de produção de biogás e potência energética.....	26
3.4	Determinação dos custos de investimento – CAPEX	27
3.4.1	Custos adicionais de adequação	28
3.4.2	Custos com equipamentos.....	28
3.5	Determinação de custos de operação e manutenção – OPEX	29

3.6	Análise energética	30
3.7	Análise de viabilidade econômica.....	32
4	Resultados.....	34
4.1	Parâmetros de entrada do esgoto sanitário e do lixiviado do aterro sanitário de sergipe34	
4.2	Misturas teóricas	34
4.3	Estimativa da produção de biogás e potencial energético	37
4.4	Definição dos principais componentes do sistema de aproveitamento do biogas45	
4.4.1	Motor-geradores	45
4.4.2	Outras unidades componentes do sistema de aproveitamento do biogás	49
4.5	Custos	50
4.5.1	CAPEX – Custos de investimento.....	50
4.5.2	OPEX – Custos de Operação de Manutenção	55
4.6	Análise energética	69
4.7	Análise de viabilidade econômica.....	71
	Conclusão	76
	Referências	78
	Apêndice A – Fluxo de Caixa e VPL para ERQ Sul SCTL.....	82
	Apêndice B – Fluxo de Caixa e VPL para ERQ Oeste SCTL.....	89
	Apêndice C – Fluxo de Caixa e VPL ETE Barra SCTL	96
	Apêndice D – Fluxo de Caixa e VPL ETE Rosa Elze SCTL.....	103
	Apêndice E – Fluxo de Caixa e VPL para ERQ Sul CCTL.....	110
	Apêndice F – Fluxo de Caixa e VPL para ERQ Oeste CCTL	117
	Apêndice G – Fluxo de Caixa e VPL ETE Barra CCTL	124
	Apêndice H – Fluxo de Caixa e VPL ETE Rosa Elze CCTL	131

1 INTRODUÇÃO

Desde de que a Política Nacional de Resíduos Sólidos (“PNRS”) foi instituída, em 2010, houve um aumento do uso dos aterros sanitários, uma vez que o PNRS determinou que os municípios brasileiros elaborassem e entregassem seus Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (“PGRS”) trazendo a alusão ao fim dos lixões, uma vez que a legislação dita que os rejeitos devem ter disposição final ambientalmente correta.

O aterro sanitário gera um efluente a partir da degradação natural do rejeito, um líquido escuro, de odor intenso, turvo e pouco viscoso, o chorume. Em conjunto com as águas pluviais que percolam no aterro, este efluente é denominado lixiviado de aterro sanitário, que deve ser devidamente tratado, visando a preservação do solo e das águas. Atualmente existem diversas formas de tratamento deste rejeito, destacando-se os métodos biológicos, entre os quais a digestão anaeróbia (SANTOS, 2009).

Lobato (2011) ressalta que os digestores anaeróbios, como o reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo – UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), se adaptaram muito bem às condições brasileiras, uma vez que é uma técnica de baixo custo e operacionalmente simples, além do clima quente, predominante no país, favorecer o funcionamento das reações anaeróbias, sendo um tipo de tratamento bem consolidado na realidade das estações de tratamento de esgoto (ETEs) brasileiras.

A codigestão de dois ou mais substratos é realizada de forma a melhorar o desempenho do biodigestor, pois compostos tóxicos podem ser diluídos e a diversidade de nutrientes aumentada, além de otimizar a produção de biogás e aumentar a estabilidade da reação (MIORIM, 2018).

O biogás é um dos principais subprodutos gerados pelo processo anaeróbio que ocorre nos reatores UASB, sendo um gás com grande potencial energético e ainda subutilizado no Brasil. Sua utilização pode contribuir com a geração de energia térmica e/ou elétrica, trazendo benefícios às ETEs sob perspectiva ambiental, técnica e econômica ao reduzir a demanda de outras fontes de energia (ROSA et al., 2016).

No país já existem plantas de tratamento de esgoto que utilizam o biogás gerado para produção de energia, e alguns trabalhos sobre a viabilidade da implantação de sistemas de aproveitamento energéticos do biogás em ETEs, inclusive em Sergipe, foram recentemente publicados (VALENTE, 2015; MIRANDA, 2018).

O único aterro sanitário presente no Estado de Sergipe atualmente envia seu efluente para tratamento em uma Central de Tratamento de Efluentes Líquidos na cidade de Camaçari/BA, onde o efluente do aterro passa por uma sequência de tratamento antes da disposição final. Essa logística de transporte do lixiviado para outro estado torna o processo bastante oneroso.

Sendo assim, o presente trabalho busca avaliar a viabilidade econômica da implantação da tecnologia de aproveitamento de biogás em ETEs que possuem reatores anaeróbios em Sergipe, considerando o cotratamento do esgoto sanitário com o lixiviado de aterro sanitário do próprio Estado.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a viabilidade econômica da implantação da tecnologia de aproveitamento de biogás em ETEs que possuem reatores anaeróbios em Sergipe, considerando o cotratamento do esgoto sanitário com o lixiviado de aterro sanitário do próprio Estado.

1.1.2 Objetivos específicos

- I) Determinar as proporções de mistura de lixiviado de aterro sanitário e esgoto sanitário a serem estudadas, a partir da literatura disponível sobre o assunto;
- II) Calcular a DQO teórica das misturas de lixiviado de aterro sanitário de Sergipe e esgoto sanitário recebido nas ETEs que possuem reatores anaeróbios, utilizando valores publicados em trabalhos científicos;
- III) Estimar o potencial de produção de biogás nas ETEs de Sergipe que possuem reatores anaeróbios, com as misturas teóricas de lixiviado de aterro sanitário e esgoto sanitário;
- IV) Avaliar a viabilidade econômica da tecnologia para geração de energia, determinando custo, retorno do investimento e economia gerada nos gastos com energia elétrica da Companhia de Saneamento de Sergipe (DESO) para cada condição de mistura.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 DIGESTÃO ANAERÓBIA

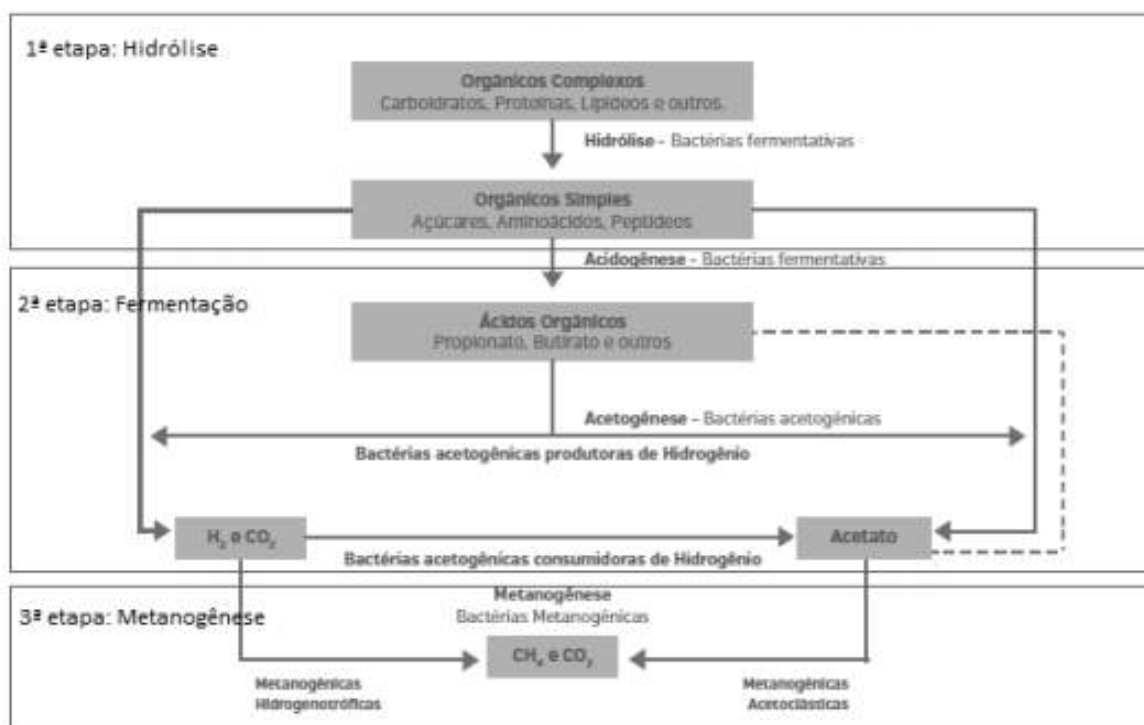
A digestão anaeróbia é o processo de degradação da matéria orgânica complexa por microrganismos que se desenvolvem na ausência de oxigênio, convertendo-a em metano, dióxido de carbono, água, amônia e gás sulfídrico, formando o lodo anaeróbio. (CHERNICHARO, 2007).

De acordo com Metcalf e Eddy (2003), a digestão anaeróbia envolve três etapas básicas: hidrólise, fermentação e metanogênese, como apresentadas na Figura 1. No estágio inicial – hidrólise, as partículas orgânicas são convertidas em componentes solúveis; os carboidratos são convertidos em açúcares, as proteínas em aminoácidos e os lipídios em ácidos graxos, substâncias que são utilizadas pelas bactérias, proporcionando a fermentação.

A fermentação, referida por outros autores como duas etapas, acidogênese e acetogênese, é a segunda etapa, onde as moléculas menores continuam a ser degradadas, produzindo ácidos-graxos voláteis, amônia, dióxido de carbono e ácido sulfídrico, que são digeridas produzindo hidrogênio, dióxido de carbono e acetato. A última etapa, a metanogênese, consome o hidrogênio e o acetato produzindo metano e CO₂. A produção do metano, em geral, indica o bom funcionamento da acetogênese (ZIEMINSKI; FRAC, 2012).

De acordo com Valente (2015), no Brasil, o uso de sistemas anaeróbios para o tratamento de esgoto foi amplamente difundido nas últimas décadas, pois o clima tropical favorece o uso desse tipo de tratamento. Dentre os sistemas anaeróbios destacam-se os reatores UASB ou RAFA (reator ascendente de fluxo ascendente). sendo ambas tecnologias predominantes no país, pois ocupam áreas menores que as lagoas e sistemas naturais em geral e demandam menos energia que os sistemas mecanizados e aeróbios convencionais. Entre 2007 e 2014, das 539 ETEs que receberam recursos do Programa de Aceleração de Crescimento (PAC), 64% possuem tratamento primário anaeróbio. Das quais 35% possuem reatores UASB (SILVA, 2014).

Figura 1: Fases da digestão anaeróbica e microrganismos envolvidos.



Fonte: Chernicharo (2007).

2.1.1 Fatores que influenciam a digestão anaeróbia

Os microrganismos envolvidos no processo anaeróbio são especialmente sensíveis às condições ambientais, sendo necessário um delicado balanço do sistema. Os principais fatores de influência são apresentados e descritos a seguir.

2.1.1.1 Temperatura

Brasil (2015a) ressalta que a temperatura é o fator físico mais importante que afeta a velocidade das reações bioquímicas, sendo assim um dos fatores mais influentes nos processos biológicos da digestão anaeróbia.

Para o crescimento microbiano, existem três faixas de temperaturas nas quais as espécies são capazes de crescer e metabolizar: psicrófilos (menor que 20°C), mesófilos (entre 20 e 40°C) e termófilos (maior que 40°C).

Na faixa psicrófila, por se tratar de temperaturas mais baixas, as reações químicas ocorrem lentamente, de acordo com Ganghis e Pestana (sd), apesar de haver registros de experimentos com tratamento anaeróbio em temperaturas variando entre 10 e 15°C, nos quais as eficiências obtidas foram ligeiramente superiores às obtidas em

unidades de tratamento primário, não sendo economicamente viável para temperaturas inferiores a 20°C.

Segundo Bischofsberger et al. (2005), as bactérias fermentativas envolvidas no processo anaeróbio chegam à sua taxa máxima de crescimento nas condições termofílicas, entre 50 e 55°C, o que significa que a degradação da matéria orgânica ocorre mais rápido, requerendo-se menores volumes de reatores. Por outro lado, os microrganismos termófilos não possuem a mesma facilidade de adaptação às temperaturas da faixa mesofílica, e a manutenção de temperaturas mais altas nos digestores torna-se mais complexa, uma vez que o biogás gerado em temperaturas ambientes geralmente não é suficiente para aquecer os reatores acima de 50°C. Porém, nas condições mesofílicas, entre 30 e 40°C, as bactérias encontram um fator ótimo de 65% de taxa de crescimento (METCALF; EDDY, 2003).

O clima da cidade é um fator importante para a escolha da tecnologia de tratamento. Em regiões de climas mais quentes, a digestão anaeróbia é favorecida, enquanto que em regiões com invernos rigorosos, o uso dessa tecnologia faz com que seja por vezes necessário o aquecimento do afluente, havendo maior gasto energético. Por isso o tratamento anaeróbio tem sido tão difundido no Brasil (SOUSA, 2016).

2.1.1.2 Efeitos do pH e da alcalinidade

O valor de pH serve como indicador principal para o controle da estabilidade de operação. Segundo Chernicharo (2007), a faixa ótima de pH para manter a atividade de arqueas metanogênicas é relativamente estreita, entre 6,8 e 7,5, enquanto as bactérias fermentativas têm sua faixa ótima de pH entre 5,0 e 6,0, tendo tolerância para valores de pH de até 4,5. A diminuição do pH acelera a atividade fermentativa, enquanto a atividade das arqueas da próxima etapa (metanogênese) é inibida pelo aumento de acidez.

O desequilíbrio entre a produção de ácidos e de bicarbonatos na primeira etapa da digestão, quando os ácidos formados não são suficientemente neutralizados pela alcalinidade proporcionada pelos bicarbonatos, ocorrendo a fermentação ácida, é a principal razão para a instabilidade da fermentação (MIORIM, 2018).

Os reatores anaeróbios são vedados, de forma que o biogás produzido possa ser captado, o que resulta na dissolução de produtos gasosos na fase líquida, provocando um efeito ácido na mistura, que se não for tamponado pela alcalinidade, torna a dosagem de substância alcalinizante necessária (BRASIL, 2015a).

Ainda segundo Brasil (2015a), no caso do tratamento anaeróbio de esgotos domésticos, a operação com cargas relativamente equilibradas normalmente garante um equilíbrio entre produção e consumo de ácidos orgânicos e, conseqüentemente, o pH pode ser mantido entre 6,8 e 7,5. Caso contrário, é recomendado reduzir a carga orgânica (DQO), dosar alcalinizantes ou aumentar a alcalinidade com cosubstratos.

2.1.1.3 Concentração de matéria orgânica e nutrientes no substrato

No esgoto sanitário e outros efluentes com baixo teor de sólidos, a concentração de matéria orgânica se caracteriza por meio da DQO. Segundo Bischofsberger et al. (2005), no reator UASB a produção de biogás está diretamente relacionada às concentrações de DQO de fácil degradação. Logo, baixas concentrações de DQO podem resultar em problemas de separação entre a fase sólida e a líquida. Por outro lado, concentrações acima de 3.000 mg/L aumentam o risco de inibição do processo por subprodutos ácidos.

Durante a digestão anaeróbia, os microrganismos necessitam de nutrientes para o seu crescimento e metabolismo. Chernicharo (2007) ressalta que além de macronutrientes como o carbono, nitrogênio e fósforo, as bactérias necessitam de micronutrientes como potássio, cálcio, ferro, magnésio. Para Gueri, Souza e Kuczman (2018), esses nutrientes, quando devidamente balanceados, aumentam a produção do biogás, evidenciando maior eficiência do tratamento do esgoto, ao passo que a ausência desses nutrientes afeta as arqueas metanogênicas, levando à redução da qualidade do biogás devido ao acúmulo excessivo de ácidos orgânicos.

2.1.1.4 Toxicidade

A presença ou excesso de certas substâncias no substrato, assim como compostos formados durante o processo anaeróbio causam um efeito tóxico irreversível na atividade dos microrganismos, demandando o crescimento de uma nova população microbiana.

Algumas das substâncias que servem como micronutrientes para as arqueas metanogênicas se tornam tóxicas ao processo em concentrações elevadas. Zaher et al. (2007) apontam que as substâncias mais críticas relacionadas ao tratamento anaeróbio nas ETEs são o oxigênio, o nitrogênio amoniacal, os compostos sulfurados, os ácidos orgânicos e os metais pesados.

Caso o substrato apresente potencial de toxicidade, algumas medidas podem ser tomadas para minimizar os efeitos negativos, como controlar o pH, remover a substância tóxica antes de se iniciar a digestão nos reatores, realizar a sedimentação do material

tóxico, diluir o afluente (podendo ser através da codigestão) ou utilizar material que neutralize a substância tóxica (RITTMANN; MCCARTY, 2001).

2.2 CARACTERÍSTICAS DO ESGOTO SANITÁRIO

A NBR 9.648 (ABNT, 1986) define esgoto sanitário como o “despejo líquido constituído de esgotos doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária”. Logo, o esgoto que chega nas estações de tratamento é formado pelos despejos de residências, edifícios comerciais, instituições ou quaisquer edificações que contenham banheiros, cozinhas ou áreas de lavagem, além dos despejos provenientes de indústrias.

De acordo com Von Sperling (2007), os esgotos sanitários são compostos por aproximadamente 99,9% de água, e o 0,1% restante é uma mistura de microrganismos e matéria orgânica e inorgânica, que podem estar dissolvidas ou suspensas. A característica dos esgotos industriais, por sua vez, varia de acordo com o tipo de indústria. Dessa forma, a caracterização dos esgotos sanitários pode ser feita segundo parâmetros físicos (temperatura, cor, odor e turbidez), biológicos e químicos (Tabela 1).

Tabela 1 – Principais características físico-químicas do esgoto sanitário.

PARÂMETRO	DESCRIÇÃO	FAIXA DE CONCENTRAÇÃO TÍPICA	UNIDADE
Sólidos totais	Sólidos suspensos + dissolvidos + sedimentáveis (orgânico e inorgânico)	700-1350	mg/L
Sólidos suspensos (SS)	Parte orgânica e inorgânica dos sólidos que não são filtráveis	200-450	mg/L
Fixos (SSF)	- Compostos minerais, inertes, que são parte dos SS	40-100	mg/L
Voláteis (SSV)	- Compostos orgânicos, oxidável pelo calor, são parte dos SS	165-350	mg/L
Sólidos dissolvidos (SD)	Parte orgânica e inorgânica dos sólidos que são filtráveis	500-900	mg/L
Fixos (SDF)	- Compostos minerais dos SD	200-500	mg/L
Voláteis (SDV)	- Compostos orgânicos dos SD	200-350	mg/L
Sólidos sedimentáveis	Parte orgânica e inorgânica dos sólidos que sedimentam em 1 hora no cone de Imhoff	10-20	mg/L
Matéria orgânica	Mistura heterogênea de vários compostos orgânicos (proteínas, lipídios, carboidratos, etc.)		
Determinação indireta			
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio: associada à fração biodegradável dos compostos orgânicos carbonáceos	250-600	mg/L
DQO	Demanda Química de Oxigênio: representa a quantidade de oxigênio necessária para estabilizar quimicamente a matéria orgânica carbonácea	450-800	mg/L
Nitrogênio total	É um nutriente essencial para o crescimento biológico dos microrganismos. Inclui nitrogênio orgânico, amônia, nitrito e nitrato	35-60	mgN/L
Fósforo total	É um nutriente essencial para o crescimento biológico dos microrganismos. Existe na forma orgânica e inorgânica	4-15	mgP/L
pH	Os processos de oxidação biológica normalmente tendem a reduzir o pH	6,7-8,0	-
Alcalinidade	Indicador da capacidade tampão do meio, causada pela presença de íons de bicarbonato, carbonato e hidroxila	100-250	mgCaCO ₃ /L

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2007).

2.3 CARACTERÍSTICAS DO LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO

Na última década, o Brasil tem despendido esforços para acabar com os lixões, especialmente após a promulgação da Política Nacional de Resíduos Sólidos, que teve como consequência a implementação de alguns aterros sanitários nesses anos.

O aterro sanitário é visto como a melhor forma de disposição dos resíduos sólidos urbanos, pela sua segurança em relação à saúde humana e ao meio ambiente, pois permite algum controle do processo de degradação desses resíduos (MAIA et al., 2019).

O líquido produzido pela decomposição de substâncias contidas nos resíduos sólidos é denominado pela ABNT, na NBR 8849/1985, de chorume, tendo como características a cor escura, o mau cheiro e elevada DBO. O termo lixiviado de aterro sanitário, se refere a todo o líquido que percola pelos resíduos, ou seja, o lixiviado é composto pela água da chuva e pelo chorume produzido no aterro, além de eventuais contribuições de água subterrânea (ABBAS et al., 2009).

As características e composição do lixiviado dependem do tipo de resíduo, da idade do aterro, das condições climáticas da região, da profundidade em o que resíduo foi aterrado e da hidrogeologia da região do aterro, sendo assim sua composição pode variar de aterro para aterro e até mesmo em um único aterro a depender da época do ano (BRENNAN et al., 2017; GOMES, 2009).

O tipo mais comum de aterro sanitário recebe uma mistura de resíduos residenciais e comerciais, e algum resíduo industrial, porém exclui quantidades significativas de resíduos químicos específicos (GOMES, 2009). De acordo com Christensen et al. (1994) apud Kjeldsen et al. (2002) o lixiviado pode ser caracterizado com um solução aquosa de quatro grupos de poluente: matéria orgânica dissolvida, macro componentes inorgânicos, metais pesados e compostos orgânicos xenobióticos.

Santos (2009), mostra como a idade do aterro interfere nas características do lixiviado, pois a fase degradativa em que se encontra o aterro varia conforme o tempo de funcionamento, conforme pode ser visto na Tabela 2.

Tabela 2: Classificação do lixiviado conforme idade do aterro.

	Jovem	Médio	Velho
Idade (anos)	<1	1-5	>5
pH	<6,5	6,5-7,5	>7,5
DQO (mg/L)	15.000	3.000-15.000	<3.000
DBO ₅ /DQO	0,5-1	0,1-0,5	<0,1
N-NH ₃ (mg/L)	<400	400	>400
Metais pesados (mg/L)	>2,0	<2,0	<2,0

Fonte: adaptado de Abbas et al. (2009).

A relação DBO₅/DQO tende a diminuir conforme o tempo de funcionamento do aterro, mostrando que a fração orgânica de mais fácil degradabilidade é reduzida, enquanto há um aumento do material orgânico recalcitrante (KJELDSEN et al., 2002).

Gomes (2009) discorre sobre os principais parâmetros físico-químicos utilizados na caracterização convencional do lixiviado, que são: pH, DBO, DQO, NTK, N-NH₃, fósforo, cloretos, alcalinidade, série de sólidos, metais pesados e outros metais. De acordo com a autora, o pH é um ótimo indicador do andamento do processo de digestão anaeróbia, pois ácidos voláteis são gerados na fase acidogênicas (em aterros jovens) e consumidos na fase metanogênica, ocorrendo o desenvolvimento das arqueas metanogênicas em faixas de pH entre 6,7 e 7,4.

A alcalinidade é devido à presença de bicarbonatos, carbonatos ou hidróxidos, sendo esta a capacidade de neutralizar ácidos mantendo o pH estável. A relação entre pH, alcalinidade e teor de ácidos voláteis determina o equilíbrio da reação e entre os microrganismos presentes na degradação biológica.

2.4 CODIGESTÃO ANAERÓBIA

Na codigestão - ou cotratamento, são utilizados dois ou mais substratos diferentes, sendo uma boa opção para melhorar o processo de digestão, pois, além de diversificar o fornecimento de nutrientes que mantém o processo em equilíbrio, pode reduzir os custos do tratamento de alguns resíduos (SILVA, 2017).

O tratamento combinado de lixiviado de aterro sanitário e esgoto sanitário em ETEs é largamente utilizado nos Estado Unidos, Europa e Japão, pela fácil manutenção e baixos custos de operação (ABBAS et al., 2009).

Gomes (2009) relata que a agência de proteção ambiental americana (*EPA – Environmental Protection Agency*) estimava que no ano 2000, quase 800 aterros de resíduos classe II (resíduos não perigosos) lançavam seus lixiviados no sistema público de tratamento de esgoto sem pré-tratamento, tendo a EPA concluído que os lixiviados não interferiam na operação do sistema de tratamento de esgotos.

As características do lixiviado de aterro sanitário modificam ao longo do tempo, conforme a idade de operação do aterro. Quanto mais velho o aterro, menor a degradabilidade do resíduo líquido e maior a presença dos compostos recalcitrantes e dos compostos nitrogenados. Por isso, Santos (2009) defende que o tratamento do lixiviado em conjunto com esgoto sanitário é mais vantajoso do que o tratamento *in situ*. O autor

traz como vantagem o efeito de diluição do lixiviado no esgoto, que reduz a proporção de nitrogênio amoniacal, dos composto recalcitrantes e dos metais pesado, além do efeito de tamponamento oferecido pelo lixiviado pela sua alta alcalinidade, que favorece a manutenção do pH, sem a necessidade de correção através de reagentes químicos.

O tratamento combinado de lixiviado de aterro e esgoto sanitário é utilizado em algumas estações de tratamento de esgoto no Brasil. Em São Paulo, a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp) e a Prefeitura assinaram um termo de cooperação técnica para o recebimento do lixiviado nas ETEs. Além de São Paulo, Belo Horizonte, Rio de Janeiro e Porto Alegre são alguns dos Municípios onde são realizados esse tipo de cotratamento (SANTOS, 2009).

Borth et al. (2018) utilizaram sete reatores UASB em escala piloto, com volume útil de 14,14 L, para avaliar o cotratamento do lixiviado do aterro sanitário da cidade de Londrina com esgoto doméstico que, no caso, foi produzido de forma sintética em laboratório devido ao grande volume utilizado diariamente. Nesse trabalho, os autores utilizaram tanto o lixiviado bruto, como o lixiviado pré-tratado por *stripping* de amônia, nas proporções de 1; 2,5; 5; 7,5 e 10% em volume de lixiviado para esgoto. Foi utilizado tempo de detenção hidráulica (TDH) de 8h. Foram obtidos resultados de remoção de DQO de 69,3% a 82,4% e de DBO de 88,3% a 90,7% para a mistura com lixiviado bruto, e remoção de DQO de 69,2% a 82,6% e de DBO de 87,3% a 90,2% para a mistura com lixiviado pré-tratado, sendo o tratamento considerado eficiente para remoção de DBO e DQO. Os autores, contudo, não consideraram eficiente o tratamento para a remoção de fósforo e NKT, que tiveram remoções máximas de 12,9% e 13,4%, respectivamente. Além disso, o lixiviado utilizado apresentou alto teor de matéria orgânica recalcitrante com DQO_{inerte}/DQO variando de 58% a 61,3%, sendo o cotratamento capaz de remover uma parcela de 24,5% do DQO inerte com o lixiviado bruto e uma parcela consideravelmente menor, de 4,5%, com o lixiviado pré-tratado.

Miorim (2018) avalia o cotratamento do lixiviado do aterro sanitário de Gravataí, no Rio Grande do Sul e do esgoto proveniente da estação de tratamento de esgoto da Universidade do Vale do Rio dos Sinos. Neste estudo, a autora utilizou um reator UASB em escala piloto com volume de 830 L e TDH de 12h. O reator foi inoculado com lodo anaeróbio proveniente do reator UASB de escala real da ETE da Universidade e o experimento foi dividido em três fases. Na fase 1, que durou 127 dias, foi tratado somente o esgoto, na fase 2, com duração de 47 dias, foi adicionado o lixiviado de aterro sanitário

na proporção de 3% e na última fase, que se deu em 28 dias, foram adicionados 6% de lixiviado. A autora chegou a resultados de remoção de DQO de 27,1% a 63,6% na primeira fase, de 33,7% a 54,7% na segunda fase e de 22,9% a 32,3% na última fase.

2.5 BIOGÁS

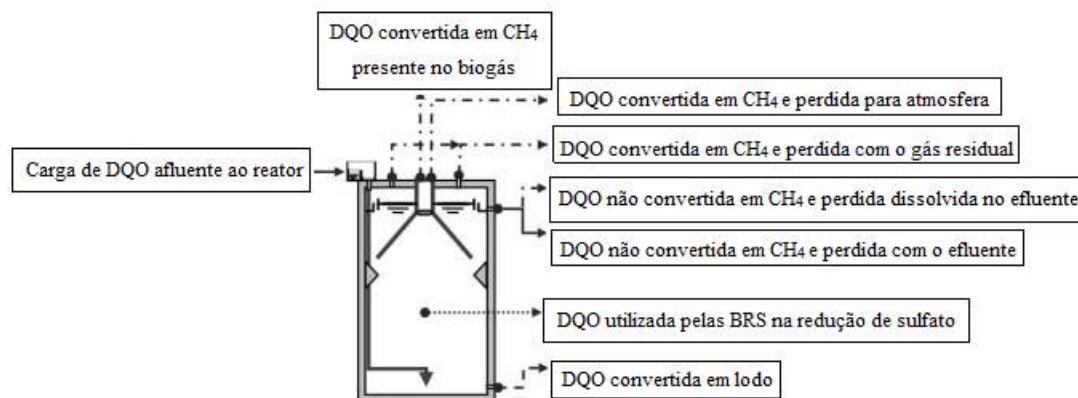
O biogás é uma mistura de gases formados pela digestão anaeróbia da matéria orgânica. Dentre os gases formados, na digestão do esgoto sanitário, o metano (CH_4) é produzido em maior proporção, variando de 55% a 70% do volume total de gases. O segundo maior constituinte do biogás é o dióxido de carbono (CO_2), entre 30% e 45%, e o restante é uma possível mistura de sulfeto de hidrogênio (H_2S), amônia (NH_3), nitrogênio (N_2), oxigênio (O_2), monóxido de carbono (CO), vapor d'água, entre outros gases (CHERNICHARO, 2007).

Brasil (2015a) apresenta a importância de se considerar todas as vias de transferência de DQO durante a digestão anaeróbia, considerando o balanço de DQO, onde são apresentadas as rotas de conversão do DQO de fluxos de metano.

Lobato, Chernicharo e Souza (2012) propõem no esquema de rotas de conversão de DQO e fluxo de metano, um balanço de DQO em reatores UASB, apresentado na Figura 2, em que se nota quatro parcelas principais de DQO:

- DQO convertida em biogás/metano: o metano presente no biogás, o metano dissolvido no efluente e o metano que escapa com o gás residual.
- DQO convertida em lodo/biomassa: a biomassa retida no reator e a biomassa carregada no efluente.
- DQO usada na redução de sulfato
- DQO residual no efluente

Figura 2: Representação esquemática das rotas de conversão de DQO e dos fluxos de metano em reatores UASB.



Fonte: Lobato, Chernicharo e Souza (2012).

Lobato (2011) criou um modelo de estimativas de produção que considera três diferentes cenários que influenciam na recuperação do metano, são estes:

- Pior situação: menor potencial energético, devido à presença de esgoto muito diluído, maiores concentrações de sulfatos, menor eficiência de remoção de DQO e maiores índices de perdas de metano;
- Melhor situação: maior potencial energético, envolvendo esgoto concentrado, menores concentrações de sulfatos, maior eficiência de remoção de DQO e menores índices de perda de metano;
- Situação típica: valores intermediários aos encontrados nas situações anteriores.

Este modelo deu origem ao *software* gratuito ProBio 1.0 (Programa de Estimativa de Produção de Biogás em Reatores UASB), que foi desenvolvido em parceria entre a Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar) e a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e é disponibilizado nos sites de ambas as instituições.

Lobato (2011) ainda discorre sobre os diversos fins para o uso do biogás, tais como utilização em substituição a outros combustíveis em caldeiras, fornos e estufas, geração de energia elétrica e uso como combustível alternativo nas linhas de gás ou como gás natural veicular (GNV).

Deganutti et al. (2002) comparam o poder energético do biogás com outros combustíveis mais utilizados: 1 m³ de biogás corresponderia a 0,61 L de gasolina; 0,79 L de etanol e ainda a 1,428 kWh de energia elétrica.

Shen et al. (2015) apresenta dados da *Water Environmental Federation* (WEF) sobre as estações de tratamento de esgoto, nos Estados Unidos, que operam sistemas de digestão anaeróbia e utilizam o biogás produzido. Quase 85% das estações utilizam o biogás para produção de energia para aquecimento do reator. Das 1241 ETEs, 270 produzem energia elétrica e 74 exportam esta energia para a rede pública.

2.5.1 Tratamento do biogás para aproveitamento

Para que o biogás seja utilizado é recomendado seu tratamento, que pode ser mais ou menos exigente, conforme o uso requerido. Os tipos de tratamentos necessários ou sua combinação são determinados pelas características do biogás produzido. Entre os tratamentos apresentados por Brasil (2015b) estão a remoção de umidade, dessulfurização, eliminação do siloxano e eliminação do dióxido de carbono. A seguir são apresentadas algumas formas de tratamento do gás.

a) Remoção de umidade

Tem por objetivo proteger os componentes de processamento de gás contra desgastes e corrosão. No digestor, a umidade relativa do biogás é de 100% e sua secagem pode ser realizada por resfriamento (condensação), adsorção (gel de sílica ou carvão ativado) ou absorção (desidratação por glicol).

b) Dessulfurização

A retirada do enxofre se faz necessária, pois a reação entre o sulfeto de hidrogênio e a água resulta no ácido sulfídrico, que é corrosivo. Os principais processos biológicos e físico-químicos são: reator de filtro biológico percolador, injeção de ar no digestor, dosagem de ferro simultânea, óxido de ferro e adsorção por carvão ativado.

c) Eliminação do siloxano

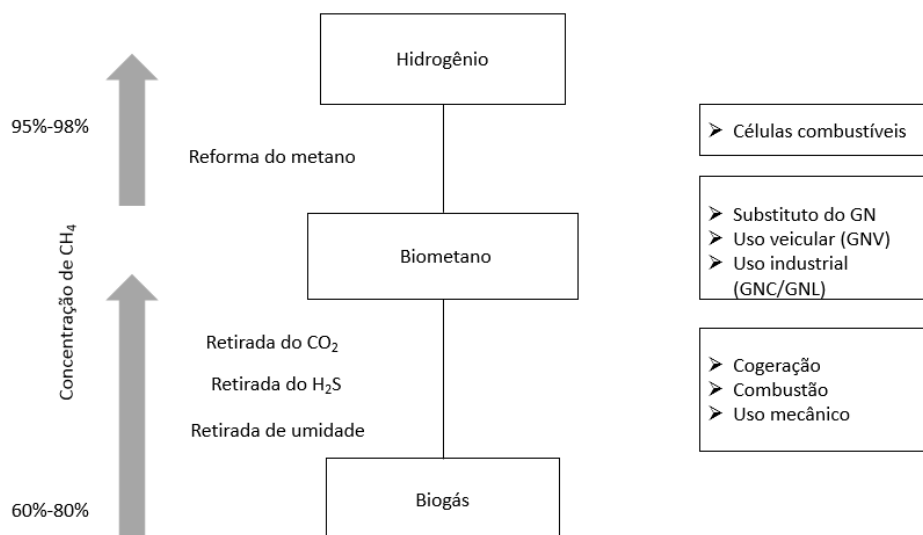
O depósito de silício de alta dureza nos motores a gás pode levar ao aumento do desgaste e danos nos equipamentos. Sua eliminação é geralmente feita através da adsorção por carvão ativado.

d) Eliminação do dióxido de carbono

É recomendada a retirada do CO₂ para utilização do biogás como gás veicular. Atualmente, existem diversos métodos químicos e físicos, como: adsorção com modulação de pressão, lavagem com água pressurizada, absorção química com solventes orgânicos, adsorção física com solventes químicos e separação por membranas.

O tratamento a ser empregado dependerá do nível de exigência para o uso que se destina. Lobato (2011) afirma que, para cogeração de energia, são necessários somente a remoção de H_2S e a retirada de umidade do biogás. São apresentados, na Figura 3, a sequência de tratamento exigida para cada tipo de uso final do biogás.

Figura 3: Necessidade de tratamento do biogás conforme uso final.



Fonte: Brasil (2015a).

Em 2018, a Sabesp passou a produzir o biometano a partir do biogás gerado no tratamento de esgoto da ETE de Franca, se tornando o primeiro projeto a incluir o esgoto urbano na produção de biometano para uso como gás natural veicular (GNV) na América Latina (FERNANDES; MARIANI, 2019).

2.6 GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS

O aproveitamento do biogás produzido em ETEs, ocorre geralmente, através da sua transformação em energia térmica ou energia elétrica. A primeira consiste na queima direta do biogás, como ocorre em caldeiras e queimadores, e a segunda converte o biogás em eletricidade através de um motor-gerador. (ROSA; NEVES; CHERNICHARO, 2018)

O biogás é convertido em energia elétrica a partir da transformação da energia química contida nas moléculas do biogás em energia mecânica por meio da combustão. Essa energia mecânica, por sua vez, é convertida em energia elétrica através de um gerador. (BRASIL, 2015a).

As três principais tecnologias disponíveis no mercado são: turbinas a gás, microturbinas e motores de combustão interna. De acordo com Lobato (2011), as turbinas

a gás são equipamentos com potências em 500kW e 250 MW, sendo mais viáveis em projetos de recuperação energética acima de 3000kW. As microturbinas são pequenas turbinas que operam na faixa de 30 a 1000kW, mas têm um elevado custo, em função da pequena escala de produção. Segundo Pecora (2006), para o aproveitamento do biogás através de motores de combustão interna, são utilizados os motores de ciclo Otto e de ciclo Diesel, sendo que o de ciclo Otto tende a ter um custo total mais baixo e a ser disponibilizado em tamanhos menores, por isso são os mais escolhidos em projetos de aproveitamento de energia proveniente do biogás em ETEs. O Quadro 1 apresenta uma comparação entre os dois tipos de motores.

Quadro 1: Comparativo de valores e parâmetros operacionais entre motores a gás de ciclo Otto e a diesel

	Motor a gás de ciclo Otto	Motor a gás de ciclo diesel
Valores característicos	<ul style="list-style-type: none"> - Potência elétrica > 1MW, raramente abaixo de 50kW; - Eficiência elétrica de 34% a 42% (para potenciais nominais >300kW); - Vida útil de aproximadamente 60.000h; - Pode ser utilizada com teores de metano a partir de 45%. 	<ul style="list-style-type: none"> - Potência elétrica de aproximadamente 340kW; - Eficiência elétrica de 30% a 44%; - Vida útil de aproximadamente 35.000h; - 2% a 5% de óleo de ignição necessário para combustão.
Aplicação	- Em qualquer planta de biogás	- Em qualquer planta de biogás
Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> - Construído especialmente para o uso com gás; - Os limites de emissões são respeitados ao máximo; - Exige pouca manutenção; - Eficiência total superior à de motores com ignição de ciclo diesel. 	<ul style="list-style-type: none"> - Uso de motores comuns a baixo custo; - Eficiência elétrica maior que a de motores de ciclo Otto para faixas inferiores de potência.
Desvantagens	<ul style="list-style-type: none"> - Investimento ligeiramente superior ao do motor de ciclo diesel; - Maiores custos de fabricação devido à escala reduzida; - Eficiência elétrica menor que a de motores de ciclo diesel para faixas inferiores de potência. 	<ul style="list-style-type: none"> - Carbonização dos bicos injetores ocasiona a elevação das missões de gases de exaustão (NOx) e manutenção mais frequente; - Não existem motores desenvolvidos especialmente para biogás; - Eficiência total menor que a de motores de ciclo Otto; - Exige o uso de combustível adicional (óleo de ignição); - A emissão de poluentes frequentemente excede os valores limites da TA Luft¹; - Vida útil curta.
Particularidades	- O controle de potência em dependência da qualidade do gás é possível e recomendável.	

Fonte: Adaptado de FNR (2010)

2.6.1 Injeção de energia elétrica na rede de distribuição

Em uma ETE onde há produção de energia elétrica, esta pode ser utilizada totalmente para autoconsumo ou pode ser injetada na rede de distribuição para posterior compensação. A Resolução Normativa nº482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2012) prevê o sistema de compensação de energia elétrica, no qual a unidade microgeradora injeta, de forma gratuita, a energia para a distribuidora local e seu consumo de energia elétrica ativa é posteriormente compensado. Essa compensação pode ocorrer entre outras unidades consumidoras, desde que inscritas no mesmo CNPJ.

¹ *Technical Instructions on Air Quality Control* – Regulamentação alemã de controle de poluição de ar.

A geração de energia pode ser em regime contínuo ou apenas no horário de ponta. Para o primeiro regime, a operação dos motor-geradores se orienta para o atendimento de uma carga básica e pela produção média de biogás. Já na geração na ponta, o gás é armazenado ao longo do dia e a energia é gerada apenas durante o horário de ponta, cujo valor das tarifas das concessionárias de energia são elevados (VALENTE, 2015).

Segundo Brasil (2015a), para geração de energia, é necessária a instalação de um gasômetro, que armazena e homogeneiza o biogás possibilitando geração de energia elétrica em horários de ponta e compensando flutuações na produção do biogás. Podendo ser internos ou externos, e são independentes dos reatores. Enquanto os internos fazem parte do biodigestor e servem como tampa, para os reatores externos, recomenda-se a instalação em linha, no fluxo principal, e a construção de uma tubulação *bypass*, que permita o armazenamento do biogás ou o envio para o queimador, quando necessário.

O nível de enchimento dos reatores deve ser monitorado e um alarme deve ser acionado quando o seu volume máximo for excedido ou quando o nível cair significativamente. O dimensionamento leva em consideração as dimensões e características operacionais da ETE.

Séries históricas ou prognósticos precisos referentes à geração de biogás ao longo do tempo devem ser levados em conta na determinação do volume de armazenamento. Para não inviabilizar a tecnologia de aproveitamento implementada, recomenda-se a utilização de margens de segurança satisfatórias no dimensionamento.

Além disso, os gasômetros, utilizados para o armazenamento do biogás, são classificados de acordo com a pressão interna: os não pressurizados, que possuem entre 0 e 0,1 kPa e podem ser de balão de lona ou colchões infláveis sem lastro e com sopradores; os de baixa pressão, que possuem entre 1 e 5 kPa e podem ser de membranas com lastro, colchões infláveis com lastro ou membrana dupla com contra-pressão por meio de ar comprimido; e os de alta pressão, que possuem entre 0,1 MPa e 1 MPa e são viáveis apenas para plantas de grande porte.

2.6.2 Características do sistema tarifário de energia elétrica

De acordo com Miranda (2018), para se tornar uma unidade geradora de energia elétrica, é necessário conhecer o sistema tarifário atual e entender as formas de medição, classificação e cobrança. A Resolução Normativa nº 414/2010 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2010) estabelece condições gerais de fornecimento de energia e traz alguns conceitos listados a seguir:

- Consumo: é a carga elétrica funcionando durante um determinado tempo; a unidade usada é o quilowatt-hora (kWh);
- Demanda: é a soma das cargas elétricas (potências) que são ligadas simultaneamente; a unidade usada é o quilowatt (kW);
- Classe de faturamento: Grupo A (alta tensão) e Grupo B (baixa tensão). O primeiro é faturado levando em conta os componentes de demanda e consumo e a tensão fornecida é maior que 2,3kV. O segundo é faturado somente com o componente de consumo de energia e a tensão de fornecimento é inferior a 2,3kV;
- Grupos tarifários: Tarifa convencional em baixa tensão, Tarifa horo-sazonal verde e Tarifa horo-sazonal azul. O primeiro é aplicável para as unidades da classe de faturamento do grupo B, as quais são consumidores residenciais, rurais, residenciais de baixa renda, e outros que utilizem baixa tensão. O segundo é uma modalidade que aplica preço único para demanda e preços diferenciados para consumo de energia, de acordo com o horário de utilização do dia. Já o último é parecido com o segundo, mas aplica preços diferenciados tanto para consumo quanto para demanda, de acordo com o horário de utilização do dia;
- Horário de ponta: período entre 17:30h e 20:30h de segunda-feira à sexta-feira, exceto feriados nacionais, cuja tarifa cobrada é onerosa;
- Horário fora de ponta: período que não contempla o horário de ponta, o qual possui tarifa mais baixa em relação ao horário de ponta;
- Bandeiras tarifárias: refletem as condições de geração de energia por fontes limpas.
- Bandeira Verde significa condições favoráveis de geração de energia, resultando em nenhum acréscimo na tarifa; a Bandeira Amarela, representa condições de geração menos favoráveis, acarretando um acréscimo de R\$ 1,00 para cada 100 kWh consumidos; e finalmente, a Bandeira Vermelha representa condições mais custosas de geração e acrescenta R\$ 3,00 (patamar 1) ou R\$ 5,00 (patamar 2) para cada 100 kWh consumidos na tarifa (ANEEL, 2017).

2.7 OUTROS COMPONENTES NECESSÁRIOS NO SISTEMA DE APROVEITAMENTO DO BIOGÁS

Brasil (2015a) relaciona alguns outros equipamentos que são utilizados para o transporte, manobra e monitoramento do biogás:

- Gasodutos: tubos condutores de biogás, preferencialmente aéreos, de aço inoxidável ou de polietileno de alta densidade (PEAD), resistentes a esforços mecânicos, à variações térmicas, à agressão corrosiva de ácidos e devem atender a requisitos de proteção contra incêndio. Seus diâmetros mínimos são de 50 mm e o dimensionamento deve prever juntas de dilatação e de expansão e garantir que a velocidade do gás esteja entre 3 m/s e 5 m/s. Mais especificações podem ser encontradas na norma NBR 12209/2011;
- Purgas: dispositivos instalados nos pontos mais baixos dos gasodutos responsáveis por possibilitar a eliminação do vapor d'água condensado anteriormente presente no gás;
- Dispositivo de proteção contra sobrepressão: dispositivos utilizados para prevenir elevadas pressões em gasodutos que derivam de reatores anaeróbios. Devem ser instalados junto ao gasômetro e junto ao reator e, se acionados, devem garantir que o funcionamento destes permaneça intacto. A pressão dinâmica de ajuste do dispositivo deve ser de 0,15 mca acima da pressão máxima permitida no reator UASB. Por isso um manômetro deve ser instalado no topo do reator a fim de monitorar a pressão operacional e indicar a sobrepressão ou vácuo, disparando comandos de emergência, como a interrupção do transporte do gás por meio de válvula de fecho rápido;
- Selo hídrico: dispositivo de segurança hidráulico com rápido tempo de resposta que pode atuar como válvula de sobrepressão e subpressão. Recomenda-se instalar uma sonda de nível com alarme no coletor de água do selo, viabilizando a identificação da variação de nível de água no interior do selo e possível fuga de biogás por falta de selamento;
- Válvulas para controle de vazão: também chamadas de registros, as válvulas são instaladas nos gasodutos e permitem o isolamento de reatores, gasômetros e ambientes fechados (ex.: sala de medições). Devem ser facilmente operadas com segurança. Seu material pode ser de ferro fundido nodular ou de aço de qualidade superior; do tipo gaveta, esfera ou borboleta;
- Válvulas corta-chamas: dispositivos que protegem as áreas de formação e/ou armazenamento de biogás contra chamas que possam se propagar pelo gasoduto a partir de sopradores ou equipamentos de consumo de biogás (queimadores ou motores de combustão interna). Assim, devem ser instalados à montante de

equipamentos que consumam biogás ou que sejam fonte potencial de ignição. A válvula corta-chamas que oferece proteção contra detonação é a mais recomendada;

- Medidor de pressão: dispositivo mecânico para medição de pressão que deve estar presente, no mínimo, no interior das câmaras de gás dos reatores e do gasômetro. Podem ser manômetros de tubo em “U” e de tubo inclinado, diafragma, fole, tubo de Bourdon, elemento espiral ou elemento helicoidal;
- Medidor de vazão: a norma NBR 12209/2011 recomenda a medição de vazão do biogás por reator anaeróbio, devendo ser instalado com *bypass*. Para aproveitamento de biogás na cogeração de energia elétrica e térmica, maiores custos relativos à medição podem estar vinculados devido à acurácia e precisão exigidas nos valores relativos ao balanço energético e aos dados detalhados sobre o processo de produção;
- Medidor de composição: aparelho responsável pela determinação da composição do biogás em tempo real. O monitoramento dos teores de CH₄, CO₂, H₂S e de O₂ é importante para a definição do potencial de recuperação energética, controle operacional do processo, identificação de contaminação e prevenção de acidentes a partir de mistura explosivas;
- Queimador: conhecido como *flare*, o queimador é imprescindível em ETEs com etapa anaeróbia, pois, mesmo sem aproveitamento de biogás, reduz o impacto ambiental e odores causados pela liberação do metano. Em ETEs com aproveitamento do biogás, o queimador funciona em situações de redução de consumo ou produção em excesso, devido à falhas ou manutenção. Devem ser dimensionados para comportar a capacidade máxima de produção do gás e podem ser de três tipos: aberto, enclausurado e semi-enclausurado.

3 MATERIAS E MÉTODOS

O presente trabalho utiliza como base a pesquisa desenvolvida por Miranda (2018). Em seu trabalho, a autora identificou as unidades de tratamento de esgoto da Companhia de Saneamento de Sergipe (DESO) que possuíam reatores UASB, sendo encontradas quatro ETEs em funcionamento com essa tecnologia de tratamento anaeróbio.

As quatro estações são: ERQ Sul, localizada na região sul do município de Aracaju, ERQ Oeste, localizada na região oeste de Aracaju, ETE Barra, situada no município da Barra dos Coqueiros e ETE Rosa Elze, localizada do município de São Cristóvão.

A autora, através de análises estatísticas, apresentou valores médios da concentração de DQO (mg/L) e da vazão (m³/h) de entrada do efluente nas ETEs. A partir desses dados, foi calculada a estimativa de produção de biogás e da potência energética produzida no UASB de cada ETE. Para isso, foi utilizado o *software* ProBio, disponibilizado gratuitamente nos *sites* da SANEPAR e da UFMG.

Utilizando esses dados, a autora analisou o balanço de consumo de energia nas ETEs após o uso da energia elétrica proveniente do biogás produzido do tratamento do efluente.

Por fim, foram levantados custos CAPEX e OPEX para adequação e funcionamento das ETEs com a utilização do biogás para produção e aproveitamento *in loco* da energia elétrica, e foi definida a viabilidade econômica para cada uma das estações avaliadas.

A autora concluiu que, para o tratamento anaeróbio do esgoto sanitário, devido ao tamanho das estações, somente a ERQ Sul e a ERQ Oeste apresentariam viabilidade econômica para instalação de um sistema de aproveitamento do biogás para produção de energia elétrica.

Lessa (2017) e Santos Júnior et al. (2019) realizaram seis e quatro coletas, respectivamente, do lixiviado do aterro sanitário de Sergipe entre os períodos de setembro/2017 a novembro/2017 e de abril/2018 e junho/2018, e, através de análises laboratoriais, caracterizaram o lixiviado, apresentando os valores médios dos parâmetros avaliados.

Santos (2009) utilizou um reator UASB, em escala piloto, para testar o tratamento combinado de esgoto sanitário com lixiviado de aterro sanitário. Para isso, o autor utilizou

proporções volumétricas de lixiviado até 10%. Concluiu-se que a adição de lixiviado de aterro sanitário ao esgoto sanitário em proporções de até 2,5% não apresenta efeitos adversos significativos, e em até 5% os efeitos são revertidos após o tempo de aclimação das bactérias digestoras, bem como que, acima disso, o processo de digestão entra em desequilíbrio permanente. Além disso, o autor demonstrou a linearidade do aumento de DQO e outros nutrientes conforme a adição do lixiviado de aterro sanitário ao esgoto sanitário.

A partir daí, o presente trabalho utiliza dados de Miranda (2018), Lessa (2017) e Santos Júnior et al.(2019) para definir, de forma teórica, a DQO da mistura do lixiviado do aterro sanitário do Estado de Sergipe com o esgoto sanitário afluente, em cada uma das quatro estações de tratamento de esgoto que possuem reatores UASB, nas proporções de 0,5% a 5% de volume do lixiviado.

3.1 ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO COM REATORES UASB

Como anteriormente mencionado, no Estado de Sergipe são quatro as estações de tratamento de esgoto que possuem reatores UASB. Miranda (2018) as identificou a partir dos relatórios de automonitoramento das ETES da DESO, sendo as seguintes estações:

ERQ Sul (Figura 4): as etapas de tratamentos em funcionamento são o gradeamento e caixa de areia, reator UASB e lagoa de polimento. A estação está localizada na rua D do loteamento Marivan, no bairro Santa Maria, em Aracaju, tendo como corpo receptor o Rio Pitanga.

ERQ Oeste (Figura 5): A estação conta com gradeamento e caixa de areia, como tratamento preliminar, reatores UASB, valos de oxidação e unidade de cloração. Está localizada na rua Dom Quirino, no Distrito Industrial de Aracaju – DIA, no bairro Inácio Barbosa. O corpo receptor, assim como da ERQ Sul, é o Rio Pitanga.

ETE Barra (Figura 6): Localizada na rua C do loteamento Rio Mar, no município da Barra dos Coqueiros, a estação possui tratamento preliminar, reator UASB, valos de oxidação, decantadores secundários e desinfecção por cloração. Seu corpo receptor é o Rio Sergipe

ETE Rosa Elze (Figura 7): A estação está localizada no loteamento Rosa do Oeste, s/n, no bairro Eduardo Gomes, no município de São Cristóvão. Conta com tratamento preliminar, reator UASB e lagoas de estabilização (duas lagoas facultativas e três lagoas de maturação em série) e utiliza o Rio Poxim como corpo receptor.

Figura 4: ERQ Sul.



Fonte: Google Earth (2020).

Figura 5: ERQ Oeste.



Fonte: Google Earth (2020).

Figura 6:ETE Barra.



Fonte: Google Earth (2020).

Figura 7: ETE Rosa Elze.



Fonte: Google Earth (2020).

Miranda (2018) coletou informações referentes às unidades de tratamento aqui apresentadas, entre as quais, os relatórios de automonitoramento das estações dos meses de janeiro/2017 a março/2018, que fornecem dados mensais de parâmetros de tratamento e vazões afluentes e os relatórios de contas de energia elétrica, que apresentam valores de carga instalada e consumos médios mensais na ponta e fora de ponta entre os meses de janeiro e agosto de 2018. Buscoram-se dados atualizados para o presente trabalho, porém a companhia de saneamento só forneceu os relatórios de contas de energia elétrica da ERQ Sul, ERQ Oeste e ETE Barra no período de fevereiro/2019 a agosto/2020.

Para manter coerência entre os dados e parâmetros analisados, preferiu-se fazer todas as análises com os dados de 2017/2018.

3.2 MISTURAS TEÓRICAS DO LIXIVIADO DO ATERRO SANITÁRIO DE SERGIPE COM O ESGOTO SANITÁRIO DE CADA UMA DAS ETES AVALIADAS

Considerando a linearidade do aumento de DQO e outros nutrientes conforme a adição do lixiviado de aterro sanitário ao esgoto sanitário apresentada por Santos (2009), foi calculado DQO resultante das misturas teóricas nas proporções de 0,5%, 1%, 2%, 3%, 4% e 5% em volume. Para isso foram utilizados os valores médios de DQO do esgoto sanitário apresentados por Miranda (2018) e a média aritmética das médias de DQO do

lixiviado do aterro sanitário de Sergipe apresentadas por Lessa (2017) e Santos Júnior et al. (2019), conforme a Equação 1.

$$DQO_m = (p * DQO_{LAS}) + [(100 - p) * DQO_{ES}] \quad (1)$$

Em que:

DQO_m é a DQO da mistura, em mg/L; p é a proporção utilizada de lixiviado, em porcentagem; DQO_{LAS} é a DQO média do lixiviado, em mg/L e DQO_{ES} é a DQO média do esgoto sanitário, em mg/L.

3.3 CÁLCULO DA ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS E POTÊNCIA ENERGÉTICA

BRASIL (2015), no âmbito do Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil, apresenta como a melhor estimativa para produção de biogás a partir do tratamento de efluentes em reatores UASB o *software* gratuito ProBio1.0.

A modelagem matemática utilizada pelo *software*, foi proposta por Lobato (2011), que considera todas as rotas possíveis de conversão da DQO e suas perdas (Figura 2), aplicando os três cenários mencionados no segundo capítulo deste trabalho: conservador, típico e otimista.

Para cada uma das ETEs estudadas, e para cada proporção de lixiviado adicionado ao esgoto sanitário, foram gerados dados de entrada para utilização do *software*. O programa fornece análise detalhada, a partir dos dados de entrada, vazão média afluente (m^3/dia) e concentração média de DQO afluente (mg/L).

Na determinação do cenário de estimativa de produção (conservador, típico e otimista), o programa apresenta parâmetros a serem assumidos de acordo com o cenário escolhido, conforme mostra o Quadro 2.

Quadro 2: Valores assumidos pelo ProBio para os parâmetros de cálculo de estimativa de produção de biogás, de acordo com cada cenário.

Parâmetro	Unidade	Cenário conservador	Cenário típico	Cenário otimista
Concentração de SO ₄ no afluente (C _{SO4})	mg/L	20	15	10
Eficiência de remoção de DQO (E _{DQO})	%	60	65	70
Eficiência de redução de SO ₄ (E _{SO4})	%	80	75	70
Coef. de produção de lodo (Y)	kgSV/kgDQO _{rem}	0,15	0,15	0,15
Coef. de produção DQO-lodo (K _{sólidos})	kgDQO-lodo/kgDQO _{rem}	0,213	0,213	0,213
Temperatura operacional reator (T)	°C	25	25	25
Fator de supersaturação de CH ₄ na fase líquida (Fs)	-	1,7	1,35	1
Perda de CH ₄ na fase gasosa com o gás residual (p _w)	%	7,5	5	2,5
Outras perdas de CH ₄ na fase gasosa (p _o)	%	7,5	5	2,5

Fonte: ProBio (2015).

A partir dos resultados de “produção de metano e biogás”, “potencial de geração de energia” e “relações volumétricas e energéticas unitárias” calculados pelo *software*, foi possível calcular a potência elétrica disponível nos sistemas de acordo com Valente (2015), pela Equação 2:

$$P_{elétrica} = \frac{P_{REAL-CH_4} * \eta_{elétrico}}{24} \quad (2)$$

Em que:

P_{elétrica} é a potência elétrica disponível, em kW; P_{REAL-CH₄} é a energia química disponível, em kWh/d, dos cenários otimistas de cada situação e $\eta_{elétrico}$ é o rendimento típico do motor-gerador.

3.4 DETERMINAÇÃO DOS CUSTOS DE INVESTIMENTO – CAPEX

A estimativa de custos de investimento desse estudo compreende os referentes às adequações das instalações já existentes das estações de tratamento e aos equipamentos necessários para a operação do sistema de aproveitamento de biogás.

Ao final, todos os custos sofreram a incidência do Benefícios e Despesas Indiretas (BDI), o qual agrega custos indiretos relativos a obras ou equipamentos. Segundo o Acórdão 2622/2013 do Tribunal de Contas da União, que traz diretrizes sobre o cálculo

do BDI (BRASIL,2013), os valores médios de BDI são 24,18% e 14,02% para obras e serviços de saneamento e para equipamentos, respectivamente.

3.4.1 Custos adicionais de adequação

Em princípio, pensou-se na construção de um tanque de equalização para o armazenamento do lixiviado trazido do aterro sanitário até a ETE, porém Obladen, Obladen e Barros (2009) mostram ETEs da Sanepar que recebem lixiviado de aterro sanitário e realizam a dosagem diretamente do canal de entrada do esgoto, a partir dos caminhões-pipa. Visto que essa opção não gera custos adicionais imediatos e ainda assim mostra-se eficiente, neste trabalho, considera-se que a mistura será feita desta forma.

Nos custos adicionais, incluem-se os itens de abrigo para motor-gerador e sistema de remoção de espuma. Enquanto o primeiro será responsável pelo condicionamento apropriado do equipamento supracitado; o segundo será instalado no reator UASB a fim de evitar a obstrução de válvulas de segurança e possíveis rupturas dos separadores trifásicos e dos gasodutos. Sua utilização implica na diminuição de limpezas corretivas periódicas nos reatores e promove maior eficiência na coleta de biogás (BRASIL, 2015a).

No item de abrigo para motor-gerador, utilizou-se um custo médio de mercado para um *container* marítimo de 40 pés, sem refrigeração. Já o custo adotado para sistema de remoção de espuma foi retirado dos custos unitários de equipamentos presentes no cálculo CAPEX de um estudo de viabilidade econômica de reator UASB com sistema de aproveitamento energético de biogás realizado por Brasil (2015b). Os valores utilizados são proporcionais às vazões de entrada de cada estação, assim como adotado no trabalho de Miranda (2018), e corrigidos para o ano de 2020, pelo IGP-M (FGV), Índice Geral de Preços de Mercado, calculado pela Fundação Getúlio Vargas.

3.4.2 Custos com equipamentos

Utilizou-se o mesmo estudo de viabilidade econômica de reator UASB com sistema de aproveitamento energético de biogás realizado por Brasil (2015b) na referência para maioria dos custos com equipamentos. Para os itens como: sistema de tratamento de biogás (biodessulfurização), gasômetro, sistema de captação de biogás e sistema de queima com queimador aberto, optou-se por usar um custo proporcional à produção de biogás de cada ETE. Já para os itens de sistema de transporte de biogás, medição de vazão e medição de composição de biogás, decidiu-se utilizar o valor integral apresentado no

estudo, pois entende-se que o volume de biogás gerado não possui influência relevante sobre os custos destes equipamentos.

Em adição, os custos referentes aos motor-geradores, incluindo o serviço de *start-up* dos equipamentos, e as instalações elétricas para geração distribuída, com projeto e painel de proteção de conexão inclusos, foram obtidos diretamente com o fornecedor ER-BR Energias Renováveis, de acordo com as potências elétricas instaladas.

3.5 DETERMINAÇÃO DE CUSTOS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO – OPEX

Para a estimativa de custos operacionais e de manutenção do sistema de aproveitamento energético de biogás, foram levados em consideração os valores apontados pelo fornecedor dos motor-geradores, por empresa prestadora de serviço e pela literatura.

No que diz respeito à manutenção e reparação dos motor-geradores, incluindo troca de óleo, reposição de peças, mão de obra e outros, a empresa ER-BR Energias Renováveis traz valores de R\$2,79/ h e R\$1,84/ h por ano, para motores de 120 kVA e 30kVA respectivamente. Como cada ETE possui sua quantidade de horas de operação diária, determinou-se a quantidade de horas de operação anual para cada ETE para estimar o custo anual com manutenção e reparação.

Para a estimativa de custos com a manutenção do sistema de tratamento de biogás, considerou-se a metade do custo unitário de tratamento apresentado por Döhler et al (2013) (R\$0,027/m³ real de biogás). O autor admite o valor de R\$0,035/m³, que atualizado com correção pelo IGP-M (FGV), no presente ano, equivale a R\$0,054/m³ de biogás para a manutenção de dois tratamentos consecutivos, dos quais apenas um foi utilizado neste estudo.

Já para as estimativas de custos anuais de manutenção preventiva e corretiva das outras unidades que compõem o sistema de aproveitamento, adotou-se 2% dos custos de investimentos iniciais de cada unidade (DÖHLER et al, 2013).

Em adição, incluiu-se a análise laboratorial de óleo lubrificante com frequência mensal, a fim de verificar a necessidade de troca de óleo para perfeito funcionamento do motor-gerador. O custo unitário de R\$185,00 foi cotado com a empresa *Test Oil* e inclui o kit de coleta, a análise e o frete das amostras.

Foi considerado um custo unitário de R\$37,60 por quilowatt instalado para despesas gerais, conforme recomendação de Döhler et al. (2013), em custo corrigido pelo IGP-M (FGV).

Custos relativos à mão de obra não foram incluídos, pois as ETEs em questão já contam com profissionais responsáveis pela sua operação.

Finalmente, visto que o recebimento do lixiviado do aterro sanitário de Sergipe, representa, para a empresa gestora, uma economia mensal com o envio desse efluente para estação de tratamento de efluentes da CETREL, em Camaçari no Estado da Bahia, que cobra em média R\$30,00/m³, e que o transporte gera uma despesa média de R\$70,00/m³ transportado, seria razoável que esse tratamento eventualmente fosse cobrado.

A fim de gerar uma receita pela cobrança do tratamento desse lixiviado, para fins de cálculo, foi admitido um preço médio de R\$30,00/m³ tratado. Como o transporte continuará como uma despesa da empresa gestora do aterro, este valor não será considerado como renda ou despesa para a DESO. Porém, vale ressaltar que a empresa gestora ainda economizaria em transporte, pois o trajeto percorrido por esse efluente seria diminuído de 300 para 50 km.

3.6 ANÁLISE ENERGÉTICA

A partir da estimativa de potência elétrica disponível, concentração de metano no biogás, produção normalizada de biogás e carga instalada em cada unidade de tratamento de esgoto, foi possível entrar em contato com fornecedores que realizaram simulações do funcionamento de motor-geradores em diferentes regimes de trabalho. Assim, foi possível determinar aqueles equipamentos que produziram o máximo de energia com a melhor relação custo-benefício.

Com os dados das potências geradas pelos equipamentos e os seus consumos de biogás, calculou-se alguns parâmetros com as Equações 3, 4 e 5 seguir:

- a. Horas de operação diária

$$H = \frac{Q_{biogás,normalizado}}{C_{biogás}} \quad (3)$$

Em que:

H é a quantidade de horas de operação com potência máxima em um dia, $Q_{biogás,normalizado}$ é a vazão de biogás produzida pelo reator, descontando as perdas, em Nm³/d; e $C_{biogás}$ é a vazão consumida de biogás pelo motor-gerador, em m³/h.

b. Produção diária de energia

$$\text{Produção diária} = H * Pot_{ger} \quad (4)$$

Em que:

A produção diária é dada em kWh; H é a quantidade de horas de operação com potência máxima em um dia; e Pot_{ger} é a potência gerada pelo motor-gerador, em kW.

c. Produção mensal de energia (kWh)

$$\text{Produção mensal} = \text{Produção diária} * 30 \quad (5)$$

Para parâmetros envolvendo os consumos de energia elétrica de cada ETE, utilizou-se os adotados por Miranda (2018), que apresenta valores de consumo médio entre os meses de janeiro a agosto de 2018. O saldo energético mensal foi calculado pela diferença entre a média do consumo mensal de energia de cada ETE e sua produção mensal de energia.

Finalmente, para calcular os custos envolvidos nesta análise, de acordo com Brasil (2015b), determinou-se a média ponderada dos valores de tarifa na ponta e fora de ponta, considerando cerca de 780 horas de ponta por ano (das 17h30 às 20h30, nos dias úteis), com posterior incidência de impostos como PIS e COFINS. Assim, para tarifa média (Equação 6), tem-se:

$$T_{méd} = \frac{[(7980 * T_{fp}) + (780 * T_p)]}{8760} \quad (6)$$

Em que:

$T_{méd}$ é a tarifa média, em R\$/kWh; T_{fp} é o valor da tarifa no horário fora de ponta correspondente ao grupo tarifário da unidade consumidora, em R\$/kWh; e T_p é a tarifa no horário de ponta relativa ao grupo tarifário da unidade, em R\$/kWh.

De acordo com o Miranda (2018), a ERQ Sul e ERQ Oeste são unidades consumidoras do grupo tarifário de alta tensão horosazonal verde, enquanto a ETE Barra e a ETE Rosa Elze, são unidades de baixa tensão. Os valores das tarifas correspondentes a cada grupo tarifário também foram obtidos junto à distribuidora de energia elétrica - Energisa e são de vigência de 04/2020 a 07/2020.

Adicionalmente, obtiveram-se os valores referentes aos impostos PIS e COFINS dos últimos 12 meses cobrados à DESO nas faturas de energia elétrica. Assim, às tarifas

médias calculadas para cada grupo tarifário, incidiu-se o valor médio de PIS e COFINS deste período. O ICMS não foi agregado à tarifa, pois a DESO é isenta deste pagamento para unidades consumidoras que possuem algum tipo de bombeamento, segundo o Anexo I do Regulamento do Imposto sobre Operações Relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestações de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação - ICMS (SEFAZ, 2002).

Assim como em Miranda (2018), não foram consideradas neste estudo as tarifas referentes às demandas contratadas de energia elétrica, pois a existência de um sistema de aproveitamento de biogás não elimina a garantia de fonte constante de energia para a segurança do tratamento de esgoto. Além disso, no cálculo da tarifa com impostos, admite-se um cenário mais conservador de estimativa, adotando-se a bandeira tarifária verde, a qual não incorpora acréscimos às tarifas.

O custo mensal médio atual com consumo de energia elétrica foi calculado para cada unidade (Equação 7), assim como a economia mensal após o aproveitamento energético de biogás (Equação 8).

$$custo_{mensal\ méd} = consumo_{mensal\ méd} * T_{méd} * (1 + I_{méd}) \quad (7)$$

Em que:

$Custo_{mensal\ méd}$ é o custo médio referente ao consumo de um mês, em R\$; $Consumo_{mensal\ méd}$ é o consumo mensal médio calculado para cada unidade, em kWh; $T_{méd}$ é o valor da tarifa média correspondente à unidade consumidora, em R\$/kWh; e $I_{méd}$ é o valor médio dos impostos PIS e COFINS, em %.

$$Econ_{mensal\ méd} = Produção\ mensal * T_{méd} * (1 + I_{méd}) \quad (8)$$

Em que:

$Econ_{mensal, méd}$ é o valor economizado após a implantação do sistema de aproveitamento de biogás, em R\$; $Produção\ mensal$ é a energia gerada pelo motor-gerador durante 1 mês, em kWh; $T_{méd}$ é o valor da tarifa média correspondente à unidade consumidora, em R\$/kWh; e $I_{méd}$ é o valor médio dos impostos PIS e COFINS, em %.

3.7 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Foi utilizado o Valor Presente Líquido (VPL), Equação 9, para a verificação da viabilidade econômica dos sistemas de aproveitamento de biogás. Montou-se o fluxo de

caixa para cada ETE, contabilizando custos, despesas e receitas relativas ao aproveitamento, sem levar em conta os custos operacionais atuais das ETEs e nem as receitas oriundas do serviço de esgotamento sanitário prestado à sociedade.

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} \quad (9)$$

Em que:

VPL é o valor presente líquido, em R\$; FC_t é fluxo de caixa no período, em R\$; i é a taxa de juros, em %; e n é o número de períodos, em anos.

Para cada ano presente no fluxo de caixa, os valores de despesas e receitas foram ajustados pela taxa de inflação, prevista em um teto de 4% em 2020 (pré-pandemia) (BRASIL, 2020). Para determinar a taxa de juros presente na Equação 9, utilizou-se da taxa de juros para empréstimos do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), para empreendimentos abaixo de 20 milhões de reais e relacionados à redução do consumo de energia ou aumento de eficiência energética. Assim, a taxa é composta por custo financeiro de 1,05% a.a., remuneração básica de 0,9% a.a. e taxa de risco de crédito para Estados, Municípios e Distrito Federal de 1,3% a.a., resultando em uma taxa de juros de 3,27% a.a. O cálculo da composição da taxa de juros é descrito na Equação 10.

$$\begin{aligned} Taxa_{BNDES} &= Fator\ de\ custo * fator\ taxa\ do\ BNDES - 1 \\ Taxa_{BNDES} &= (1 + C_t) * (1 + R_B + T_R) - 1 \end{aligned} \quad (10)$$

Em que:

A $Taxa_{BNDES}$ é a taxa de juros para empréstimos, C_t é o custo financeiro, R_B é a remuneração básica; e T_R é a taxa de risco de crédito.

Assim como em Miranda (2018), o cálculo de viabilidade foi realizado com um horizonte de planejamento de 25 anos para todas as ETEs. E, para calcular o tempo de retorno do investimento em cada estação, foi utilizada a técnica de *PayBack* descontado, avaliando, então, os resultados acumulados dos fluxos de caixas descontados e identificando o momento em que o ganho acumulado se iguala ao valor do investimento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PARÂMETROS DE ENTRADA DO ESGOTO SANITÁRIO E DO LIXIVIADO DO ATERRO SANITÁRIO DE SERGIPE

Os dados dos valores de DQO de entrada e vazão média de entrada do esgoto sanitário, em cada uma das ETES estudadas, foram obtidos no trabalho de Miranda (2018), enquanto os dados de DQO e vazão média do lixiviado do aterro sanitário de Sergipe foram obtidos dos trabalhos de Lessa (2017) e Santos Júnior et al. (2019). Os três trabalhos utilizaram dados coletados entre 2017 e 2018. Na Tabela 3, são apresentados os resultados médios de DQO e vazão na entrada de cada uma das ETES, DQO e vazão média da produção de lixiviado do aterro sanitário.

Tabela 3: Vazão e DQO do esgoto sanitário e do lixiviado.

ESGOTO SANITÁRIO (Miranda, 2018)		
	DQO média de entrada (mg/L)	Vazão média de entrada (m³/dia)
ERQ Sul	356,25	6060,08
ERQ Oeste	279,50	6407,49
ETE Barra	329,83	597,80
ETE Rosa Elze	476,86	1605,31
LIXIVIADO DO ATERRO SANITÁRIO DE SERGIPE		
	DQO média (mg/L)	Vazão média (m³/dia)
Lessa (2017)	3676,92	200,00
Santos et al. (2019)	4344,95	200,00
Média	4010,94	200,00

Fonte: Autora (2020).

4.2 MISTURAS TEÓRICAS

Foram calculados os valores teóricos de DQO em misturas de lixiviado do aterro sanitário nas proporções de 0,5%, 1%, 2%, 3%, 4% e 5% em volume. Tais valores foram definidos a partir dos resultados disponíveis na literatura.

Como mencionado anteriormente, Santos (2009) chegou à conclusão que a adição de lixiviado de aterro sanitário ao esgoto sanitário em proporções de até 2,5% de lixiviado não apresenta efeitos adversos significativos, entre 2,5% e 5% os efeitos são reversíveis, e acima disso o processo de digestão entra em desequilíbrio permanente. Além disso, o

autor demonstrou a linearidade do aumento de DQO e outros nutrientes conforme a adição do lixiviado de aterro sanitário ao esgoto sanitário.

Santos (2009) obteve resultados de remoção de DQO no reator UASB de 85% de remoção, somente com o esgoto sanitário, 72,9% de remoção na mistura com 1% de lixiviado, 65,8% de remoção na mistura com 2,5% de lixiviado e somente 45,8% de remoção de DQO na mistura de 5% de lixiviado.

Nascentes et al. (2015) analisaram misturas de 0,5% e 5% de lixiviado de aterro sanitário com esgoto sanitário, obtendo remoções de DQO de $89\pm 8\%$ para o esgoto sanitário puro, $88\pm 4\%$ para a mistura de 0,5% e $80\pm 3\%$ para a mistura de 5% de lixiviado de aterro sanitário de esgoto sanitário. Os autores também demonstraram que, para ambas proporções, logo após a introdução ou aumento da concentração de lixiviado, houve queda significativa da biodiversidade e redução na atividade microbiana, porém após alguns dias a diversidade e a atividade se reestabeleciam no sistema, mostrando a capacidade de adaptação dos microrganismos digestores.

Miorim (2018) utilizou o cotratamento do lixiviado com esgoto sanitário nas proporções de 3 e 6%, além de ter medido a eficiência do processo somente com o esgoto sanitário. A autora mostrou que a eficiência inicial de remoção de DQO, com o tratamento somente do esgoto sanitário estava entre 27,1% e 63,6%. Após o acréscimo do lixiviado na proporção de 3%, a eficiência da remoção de DQO ficou entre 33,7% e 54,7%, e ao acrescentar 6% do lixiviado a eficiência da remoção de DQO caiu para entre 22,9% e 32,3%.

Todos os autores destacam a importância de um pós-tratamento para remoção de nutrientes, como nitrogênio, fósforo, cloretos e metais, pois o tratamento anaeróbio não é capaz de remover de maneira satisfatória esses nutrientes.

A Tabela 4 mostra de forma comparativa a caracterização dos lixiviados utilizados nos trabalhos citados e do lixiviado do aterro sanitário de Sergipe.

Tabela 4: Caracterização dos lixiviados de aterro sanitário.

Parâmetro \ Autor	Lessa (2017)	Santos Júnior et al. (2019)	Miorim (2018)	Santos (2009)	Nascentes et al. (2015)
Temperatura da amostra (°C)	32,75	34,3	-	30,8	-
pH	7,7	7,7	8,1	8,0	8,15
Condutividade (mS.cm ⁻¹)	21,41	21,67	-	38,5	-
STD (mg.L ⁻¹)	1329,33	13418,3	1629,4	23099	-
DQO (mg.L ⁻¹)	3676,92	4344,95	1323,3	12768	2435
DBO5(mg.L ⁻¹)	1311,24	1376,25	362,5	4909	-
Fósforo (mg.L ⁻¹)	1,56	1,18	18,2	25,4	-
Cor Aparente (UC)	3440,50	3658,00	1108,5	6577	-
Turbidez (NTU)	435,60	650,20	85,5	334	86,4
Nitrogênio Amoniacal (mg.L ⁻¹)	1607,33	1299,93	134,8	1747	203,5
Cloretos (mg.L ⁻¹)	6540,68	4.564,04	-	10.055	4028

Fonte: Autora (2020).

Nos três trabalhos apresentados, a atividade anaeróbia ocorreu na faixa de temperatura mesofílica, entre 20 e 40°C. Todas as amostras de lixiviado de aterro sanitário apresentam pH mais alcalinos que, para a codigestão com o esgoto sanitário, pode servir como agente tamponante na reação, auxiliando na não acidificação excessiva do meio durante a fase de acidogênese.

Observa-se que as características do lixiviado de aterro sanitário diferem conforme o aterro estudado, pois dependem do tipo do resíduo aterrado, do solo do aterro e da idade do aterro. Dentre os trabalhos apresentados, o de Santos (2009) é o que apresenta o lixiviado com maior carga orgânica, e maior concentração de nutrientes potencialmente tóxicos, como fósforo, nitrogênio amoniacal e cloretos, e é o que apresenta piores resultados de remoção de DQO no reator UASB. Ainda assim, este autor mostra que, em proporções de até 5% desde lixiviado, a digestão anaeróbia não é permanentemente afetada, funcionando de maneira satisfatória.

A Tabela 5 mostra os resultados de DQO das misturas teóricas do lixiviado de aterro sanitário de Sergipe e esgoto sanitário recebido em cada uma das ETEs avaliadas, além de DQO do esgoto sanitário bruto.

Tabela 5: DQO do esgoto sanitário e DQO teórico das misturas em porcentagem do lixiviado do aterro sanitário de Sergipe com o esgoto sanitário nas estações que possuem reatores UASB.

	Esgoto sanitário	0,5%	1%	2%	3%	4%	5%
ERQ Sul	356,25	374,52	392,80	429,34	465,89	502,44	538,98
ERQ Oeste	279,50	298,16	316,81	354,13	391,44	428,76	466,07
ETE Barra	329,83	351,34	366,64	403,46	440,27	477,08	513,89
ETE Rosa Elze	476,86	494,53	512,20	547,54	582,88	618,22	653,56

Fonte: Autora (2020).

4.3 ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS E POTENCIAL ENERGÉTICO

Foram utilizados os valores de DQO das misturas e do esgoto sanitário bruto, apresentados na Tabela 5, e os valores de vazão de cada uma das ETEs como dados de entrada no *software* ProBio 1.0, que fornece estimativas da produção de biogás e outros parâmetros relacionados à conversão de DQO nos reatores UASB.

Entre a Tabela 6 e a Tabela 12, são apresentados valores referentes à proporção de metano no biogás, potencial de geração de energia e relações volumétricas e energéticas unitárias, sob a ótica dos três cenários propostos pelo modelo de Lobato (2011).

Avaliando a proporção de CH₄ no biogás, através da estimativa gerada, nota-se que a partir de 3% de adição de lixiviado de aterro sanitário ao esgoto, todas as estações apresentam proporções acima de 60% de CH₄ no biogás, valor esperado para o reator UASB, segundo Cabral et. al. (2015).

O poder calorífico inferior do biogás está diretamente ligado à proporção de metano. Considerando que o poder calorífico inferior do metano é de, conforme Lobato (2011), 9,96 kWh/Nm³, observa-se que a partir de 2% de adição de lixiviado, as ETEs (com exceção da ERQ Oeste, onde o afluente é mais diluído) apresentam poder calorífico inferior do biogás maiores que 6kWh/Nm³_{biogás}.

Tabela 6: Dados de saída do *software* Probio 1.0 sobre a produção de biogás das ETEs em 3 diferentes cenários somente para o esgoto sanitário.

		ERQ Sul			ERQ Oeste			ETE Barra			ETE Rosa Elze		
Parâmetros	Unidade	Cenário conservador	Cenário típico	Cenário otimista	Cenário conservador	Cenário típico	Cenário otimista	Cenário conservador	Cenário típico	Cenário otimista	Cenário conservador	Cenário típico	Cenário otimista
DQO convertida em CH ₄ presente do biogás	%	17,00	26,80	37,50	11,90	22,60	34,30	15,40	25,50	36,50	20,30	29,60	39,60
Proporção CH ₄ no biogás	%	59,40	59,40	59,40	56,30	56,30	56,30	58,60	58,60	58,60	69,00	69,00	69,00
Produção real de CH ₄ no biogás	m ³ /dia	139,80	221,00	309,50	81,70	155,00	235,00	11,60	19,20	27,50	59,40	86,40	115,90
Produção real de biogás	m ³ /dia	235,50	372,10	521,20	145,10	275,10	417,30	19,80	32,80	47,00	86,10	125,20	167,90
Produção normalizada de CH ₄	Nm ³ /dia	128,10	202,50	283,50	74,90	142,00	215,30	10,60	17,60	25,20	54,40	79,20	106,20
Produção normalizada de biogás	Nm ³ /dia	215,70	340,90	477,40	132,90	252,00	382,30	18,10	30,00	43,00	78,80	114,70	153,80
Energia química disponível	kWh/dia	1268,20	2004,30	2807,10	741,20	1405,40	2131,50	105,10	174,20	249,60	538,80	784,00	1051,10
Taxa de emissão de CH ₄	ton/ano	841,60	1330,10	1862,90	491,90	932,70	1414,60	69,80	115,60	165,60	357,60	520,30	697,50
Volume unitário de CH ₄ produzido	Nm ³ /m ³ esgoto tratado	0,02	0,03	0,05	0,01	0,02	0,03	0,02	0,03	0,04	0,03	0,05	0,07
Volume unitário de biogás produzido	Nm ³ /m ³ esgoto tratado	0,04	0,06	0,08	0,02	0,04	0,06	0,03	0,05	0,07	0,05	0,07	0,1
Potencial energético unitário	kWh/m ³ esgoto tratado	0,21	0,33	0,46	0,12	0,22	0,33	0,18	0,29	0,42	0,34	0,49	0,65
	kWh/Nm ³ biogás	5,88	5,88	5,88	5,58	5,58	5,58	5,80	5,80	5,80	6,83	6,83	6,83

Fonte: Autora (2020).

Tabela 7: Dados de saída do *software* Probio 1.0 sobre a produção de biogás das ETEs em 3 diferentes cenários para mistura de 0,5% de lixo de aterro sanitário e esgoto sanitário.

Parâmetros	Unidade	ERQ Sul			ERQ Oeste			ETE Barra			ETE Rosa Elze		
		Cenário conservador	Cenário típico	Cenário otimista	Cenário conservador	Cenário típico	Cenário otimista	Cenário conservador	Cenário típico	Cenário otimista	Cenário conservador	Cenário típico	Cenário otimista
DQO convertida em CH ₄ presente do biogás	%	18,00	27,60	38,20	13,30	23,70	35,20	16,70	26,60	37,30	21,00	30,10	40,10
Proporção CH ₄ no biogás	%	59,80	59,80	59,80	57,30	57,30	57,30	59,30	59,30	59,30	69,10	69,10	69,10
Produção real de CH ₄ no biogás	m ³ /dia	155,70	239,50	330,90	97,10	173,50	257,00	13,40	21,30	30,00	63,70	91,40	121,50
Produção real de biogás	m ³ /dia	260,50	400,70	553,60	169,40	302,80	448,50	22,60	36,00	50,60	92,10	132,20	175,80
Produção normalizada de CH ₄	Nm ³ /dia	142,60	219,40	303,20	89,00	158,90	235,40	12,30	19,50	27,50	58,30	83,70	111,30
Produção normalizada de biogás	Nm ³ /dia	238,60	367,10	507,20	155,20	277,40	410,90	20,70	32,90	46,30	84,40	121,10	161,00
Energia química disponível	kWh/dia	1412,20	2172,50	3001,30	880,60	1573,60	2330,80	121,30	193,30	271,80	577,60	828,60	1102,10
Taxa de emissão de CH ₄	ton/ano	937,20	1441,70	1991,80	584,40	1044,30	1546,80	80,50	128,30	180,40	383,30	549,90	731,40
Volume unitário de CH ₄ produzido	Nm ³ /m ³ esgoto tratado	0,02	0,04	0,05	0,01	0,02	0,04	0,02	0,03	0,05	0,04	0,05	0,07
Volume unitário de biogás produzido	Nm ³ /m ³ esgoto tratado	0,04	0,06	0,08	0,02	0,04	0,06	0,03	0,06	0,08	0,05	0,08	0,1
Potencial energético unitário	kWh/m ³ esgoto tratado	0,23	0,36	0,49	0,14	0,25	0,36	0,2	0,32	0,45	0,36	0,52	0,69
	kWh/Nm ³ biogás	5,92	5,92	5,92	5,67	5,67	5,67	5,87	5,87	5,87	6,84	6,84	6,84

Fonte: Autora (2020).

Tabela 8: Dados de saída do *software* Probio 1.0 sobre a produção de biogás das ETEs em 3 diferentes cenários para mistura de 1% de lixiviado de aterro sanitário e esgoto sanitário.

		ERQ Sul			ERQ Oeste			ETE Barra			ETE Rosa Elze		
Parâmetros	Unidade	Cenário conservador	Cenário típico	Cenário otimista	Cenário conservador	Cenário típico	Cenário otimista	Cenário conservador	Cenário típico	Cenário otimista	Cenário conservador	Cenário típico	Cenário otimista
DQO convertida em CH ₄ presente do biogás	%	18,90	28,40	38,80	14,60	24,80	36,00	17,50	27,30	37,90	16,30	26,70	37,90
Proporção CH ₄ no biogás	%	60,00	60,00	60,00	58,10	58,10	58,10	59,60	59,60	59,60	69,20	69,20	69,20
Produção real de CH ₄ biogás	m ³ /dia	171,90	258,40	352,60	112,90	192,40	279,20	14,70	22,80	31,70	51,30	83,90	119,00
Produção real de biogás	m ³ /dia	286,30	430,30	587,20	194,30	331,10	480,40	24,60	38,30	53,20	74,00	121,10	171,80
Produção normalizada de CH ₄	Nm ³ /dia	157,50	236,70	323,00	103,50	176,30	255,80	13,40	20,90	29,10	47,00	76,80	109,00
Produção normalizada de biogás	Nm ³ /dia	262,30	394,20	537,90	178,00	303,30	440,10	22,60	35,10	48,80	67,80	111,00	157,40
Energia química disponível	kWh/dia	1559,30	2343,30	3197,70	1024,20	1745,20	2532,60	133,10	207,10	287,80	464,90	760,60	1079,00
Taxa de emissão de CH ₄	ton/ano	1034,80	1555,10	2122,10	679,70	1158,20	1680,70	88,40	137,50	191,00	308,50	504,80	716,10
Volume unitário de CH ₄ produzido	Nm ³ /m ³ esgoto tratado	0,03	0,04	0,05	0,02	0,03	0,04	0,02	0,03	0,05	0,03	0,05	0,07
Volume unitário de biogás produzido	Nm ³ /m ³ esgoto tratado	0,04	0,07	0,09	0,03	0,05	0,07	0,04	0,06	0,08	0,04	0,07	0,1
Potencial energético unitário	kWh/m ³ esgoto tratado	0,26	0,39	0,53	0,16	0,27	0,4	0,22	0,35	0,48	0,29	0,47	0,67
	kWh/Nm ³ biogás	5,94	5,94	5,94	5,75	5,75	5,75	5,9	5,9	5,9	6,85	6,85	6,85

Fonte: Autora (2020).

Tabela 9: Dados de saída do *software* Probio 1.0 sobre a produção de biogás das ETEs em 3 diferentes cenários para mistura de 2% de lixiviado de aterro sanitário e esgoto sanitário.

		ERQ Sul			ERQ Oeste			ETE Barra			ETE Rosa Elze		
Parâmetros	Unidade	Cenário conservador	Cenário típico	Cenário otimista	Cenário conservador	Cenário típico	Cenário otimista	Cenário conservador	Cenário típico	Cenário otimista	Cenário conservador	Cenário típico	Cenário otimista
DQO convertida em CH ₄ presente do biogás	%	18,20	27,80	38,30	16,80	26,70	37,40	16,80	26,70	37,40	17,80	27,90	38,80
Proporção CH ₄ no biogás	%	68,80	68,80	68,80	59,30	59,30	59,30	68,60	68,60	68,60	69,40	69,40	69,40
Produção real de CH ₄ biogás	m ³ /dia	180,90	276,30	380,40	145,90	231,40	324,60	15,50	24,60	34,50	59,80	93,70	130,20
Produção real de biogás	m ³ /dia	263,20	401,90	553,40	245,90	390,00	547,10	22,60	35,80	50,20	86,10	134,90	187,50
Produção normalizada de CH ₄	Nm ³ /dia	165,70	253,20	348,50	133,70	212,00	297,40	14,20	22,50	31,60	54,80	85,80	119,30
Produção normalizada de biogás	Nm ³ /dia	241,10	368,20	506,90	225,30	357,30	501,20	20,70	32,80	46,00	78,90	123,60	171,80
Energia química disponível	kWh/dia	1640,90	2506,30	3450,40	1323,50	2098,70	2944,40	140,70	222,90	312,60	542,40	849,90	1181,00
Taxa de emissão de CH ₄	ton/ano	1089,00	1663,30	2289,80	878,30	1392,80	1954,00	93,40	147,90	207,40	360,00	564,00	783,70
Volume unitário de CH ₄ produzido	Nm ³ /m ³ esgoto tratado	0,03	0,4	0,06	0,02	0,03	0,05	0,02	0,04	0,05	0,03	0,05	0,07
Volume unitário de biogás produzido	Nm ³ /m ³ esgoto tratado	0,04	0,06	0,08	0,04	0,06	0,08	0,03	0,05	0,08	0,05	0,08	0,11
Potencial energético unitário	kWh/m ³ esgoto tratado	0,27	0,41	0,57	0,21	0,33	0,46	0,24	0,37	0,52	0,34	0,53	0,74
	kWh/Nm ³ biogás	6,81	6,81	6,81	5,87	5,87	5,87	6,79	6,79	6,79	6,88	6,88	6,88

Fonte: Autora (2020).

Tabela 10: Dados de saída do *software* Probio 1.0 sobre a produção de biogás das ETEs em 3 diferentes cenários para mistura de 3% de lixo de aterro sanitário e esgoto sanitário.

		ERQ Sul			ERQ Oeste			ETE Barra			ETE Rosa Elze		
Parâmetros	Unidade	Cenário conservador	Cenário típico	Cenário otimista	Cenário conservador	Cenário típico	Cenário otimista	Cenário conservador	Cenário típico	Cenário otimista	Cenário conservador	Cenário típico	Cenário otimista
DQO convertida em CH ₄ presente do biogás	%	19,90	29,20	39,30	18,80	28,40	38,70	18,70	28,20	38,60	19,10	29,00	39,60
Proporção CH ₄ no biogás	%	69,00	69,00	69,00	60,00	60,00	60,00	68,80	68,80	68,80	69,70	69,70	69,70
Produção real de CH ₄ biogás	m ³ /dia	214,30	314,80	424,30	180,50	271,70	371,10	18,80	28,40	38,80	68,30	103,60	141,50
Produção real de biogás	m ³ /dia	310,70	456,40	615,30	300,70	452,60	618,20	27,40	41,30	56,40	98,10	148,70	203,10
Produção normalizada de CH ₄	Nm ³ /dia	196,30	288,40	388,70	165,40	248,90	339,90	17,30	26,00	35,60	62,60	94,90	129,60
Produção normalizada de biogás	Nm ³ /dia	283,60	418,10	563,60	275,50	414,60	566,30	25,10	37,80	51,70	89,90	136,20	186,00
Energia química disponível	kWh/dia	1943,40	2854,90	3848,40	1637,00	2464,10	3365,50	170,80	257,50	352,10	619,90	939,20	1282,90
Taxa de emissão de CH ₄	ton/ano	1289,70	1894,60	255,40	1086,40	1635,30	2233,40	113,30	170,90	233,70	411,40	623,30	851,40
Volume unitário de CH ₄ produzido	Nm ³ /m ³ esgoto tratado	0,03	0,05	0,06	0,03	0,04	0,05	0,03	0,04	0,06	0,04	0,06	0,08
Volume unitário de biogás produzido	Nm ³ /m ³ esgoto tratado	0,05	0,07	0,09	0,04	0,06	0,09	0,04	0,06	0,09	0,06	0,08	0,12
Potencial energético unitário	kWh/m ³ esgoto tratado	0,32	0,47	0,64	0,26	0,38	0,53	0,29	0,43	0,59	0,39	0,59	0,8
	kWh/Nm ³ biogás	6,83	6,83	6,83	5,94	5,94	5,94	6,81	6,81	6,81	6,9	6,9	6,9

Fonte: Autora (2020).

Tabela 11: Dados de saída do *software* Probio 1.0 sobre a produção de biogás das ETEs em 3 diferentes cenários para mistura de 4% de lixiviado de aterro sanitário e esgoto sanitário.

		ERQ Sul			ERQ Oeste			ETE Barra			ETE Rosa Elze		
Parâmetros	Unidade	Cenário conservador	Cenário típico	Cenário otimista	Cenário conservador	Cenário típico	Cenário otimista	Cenário conservador	Cenário típico	Cenário otimista	Cenário conservador	Cenário típico	Cenário otimista
DQO convertida em CH ₄ presente do biogás	%	15,90	26,30	37,60	18,20	27,80	38,30	20,30	29,60	39,60	20,30	29,90	40,30
Proporção CH ₄ no biogás	%	69,20	69,20	69,20	68,70	68,70	68,70	69,00	69,00	69,00	69,90	69,90	69,90
Produção real de CH ₄ biogás	m ³ /dia	184,60	306,30	437,40	190,70	291,50	401,50	22,10	32,20	43,20	76,90	113,40	152,70
Produção real de biogás	m ³ /dia	266,80	442,80	632,30	277,40	424,10	584,00	32,10	46,70	62,60	110,10	162,30	218,60
Produção normalizada de CH ₄	Nm ³ /dia	169,10	280,60	400,70	174,70	267,10	367,80	20,30	29,50	39,60	70,40	103,90	139,90
Produção normalizada de biogás	Nm ³ /dia	244,50	405,60	579,20	254,20	388,50	535,00	29,40	42,70	57,30	100,80	148,70	200,20
Energia química disponível	kWh/dia	1674,30	2778,10	3067,00	1729,90	2644,10	3641,60	200,80	292,20	391,70	697,30	1028,50	1384,90
Taxa de emissão de CH ₄	ton/ano	1111,20	1843,70	2632,70	1148,00	1754,70	2416,70	133,30	193,90	259,90	462,80	682,60	919,00
Volume unitário de CH ₄ produzido	Nm ³ /m ³ esgoto tratado	0,03	0,05	0,07	0,03	0,04	0,06	0,03	0,05	0,07	0,04	0,06	0,09
Volume unitário de biogás produzido	Nm ³ /m ³ esgoto tratado	0,04	0,07	0,1	0,04	0,06	0,08	0,05	0,07	0,1	0,06	0,09	0,12
Potencial energético unitário	kWh/m ³ esgoto tratado	0,28	0,46	0,65	0,27	0,41	0,57	0,34	0,49	0,66	0,43	0,64	0,86
	kWh/Nm ³ biogás	6,85	6,85	6,85	6,81	6,81	6,81	6,83	6,83	6,83	6,92	6,92	6,92

Fonte: Autora (2020).

Tabela 12: Dados de saída do *software* Probio 1.0 sobre a produção de biogás das ETEs em 3 diferentes cenários para mistura de 5% de lixo de aterro sanitário e esgoto sanitário.

Parâmetros	Unidade	ERQ Sul			ERQ Oeste			ETE Barra			ETE Rosa Elze		
		Cenário conservador	Cenário típico	Cenário otimista	Cenário conservador	Cenário típico	Cenário otimista	Cenário conservador	Cenário típico	Cenário otimista	Cenário conservador	Cenário típico	Cenário otimista
DQO convertida em CH ₄ presente do biogás	%	17,50	27,60	38,60	19,90	29,20	39,30	16,40	26,80	37,90	21,30	30,70	40,90
Proporção CH ₄ no biogás	%	69,40	69,40	69,40	69,00	69,00	69,00	69,30	69,30	69,30	70,10	70,10	70,10
Produção real de CH ₄ biogás	m ³ /dia	218,00	344,80	481,30	226,70	333,00	448,90	19,20	31,40	44,50	85,40	123,200	163,90
Produção real de biogás	m ³ /dia	314,10	496,80	693,50	328,70	482,90	650,90	27,80	45,30	64,30	121,90	175,90	233,90
Produção normalizada de CH ₄	Nm ³ /dia	199,70	315,80	440,90	207,70	305,10	411,20	17,60	28,80	40,80	78,30	112,90	150,20
Produção normalizada de biogás	Nm ³ /dia	287,70	455,10	635,30	301,20	442,40	596,30	25,50	41,50	58,90	111,70	161,10	214,30
Energia química disponível	kWh/dia	1976,70	3126,70	4364,90	2056,40	3020,40	4071,10	174,50	284,80	403,60	774,80	1117,80	1486,80
Taxa de emissão de CH ₄	ton/ano	1311,80	2075,50	2896,70	1364,70	2004,50	2701,80	115,80	189,00	267,90	514,20	741,80	986,70
Volume unitário de CH ₄ produzido	Nm ³ /m ³ esgoto tratado	0,03	0,05	0,07	0,03	0,05	0,06	0,03	0,05	0,07	0,05	0,07	0,09
Volume unitário de biogás produzido	Nm ³ /m ³ esgoto tratado	0,05	0,08	0,1	0,05	0,07	0,09	0,04	0,07	0,1	0,07	0,1	0,13
Potencial energético unitário	kWh/m ³ esgoto tratado	0,33	0,52	0,72	0,32	0,47	0,64	0,29	0,48	0,68	0,48	0,7	0,93
	kWh/Nm ³ biogás	6,87	6,87	6,87	6,83	6,83	6,83	6,86	6,86	6,86	6,94	6,94	6,94

Fonte: Autora (2020).

Miranda (2018) aponta que as relações unitárias de produção de metano, biogás e energia, estimadas no tratamento somente do esgoto sanitário nas ETEs estudadas, apresentam valores abaixo das relações unitárias mínimas determinadas por Lobato (2011). O acréscimo do lixiviado de aterro sanitário ao esgoto sanitário, a partir da proporção de 2%, faz com que sejam atingidas as relações unitárias mínimas, exceto a relação de potencial energético unitário em $\text{kWh.Nm}^3_{\text{biogás}}$, o que evidencia uma proporção de metano no biogás abaixo do esperado, apontando a presença de um efluente ainda muito diluído.

4.4 DEFINIÇÃO DOS PRINCIPAIS COMPONENTES DO SISTEMA DE APROVEITAMENTO DO BIOGÁS

4.4.1 Motor-geradores

Dentre as principais tecnologias disponíveis no mercado para conversão da energia química do biogás em energia elétrica, optou-se pelo motor-gerador de ciclo Otto, que além no menor custo, tem menos exigências em relação à qualidade do gás e pode operar com proporção de metano no biogás acima de 45%.

A partir das estimativas de produção de biogás, obtidas através do ProBio 1.0, e, assumindo uma proporção de metano de 60% no biogás, a empresa ER-BR Energias sugeriu um grupo de geradores para cada uma das estações, e forneceu informações dos equipamentos, como a potência gerada em carga base e o consumo de biogás. Para a ERQ Sul e a ERQ Oeste foram recomendados motor-geradores nas potências de 120 kVA ou 50 kVA, para a ETE Barra e a ETE Rosa Elze foram sugeridos motor-geradores nas potências de 30 kVA. Para a ERQ Sul e a ERQ Oeste, optou-se por utilizar o gerador de 120 kVA, uma vez que o gerador de 50 kVA, apresentou horas de operação diária (equação 3) superiores a 24h, para as maiores proporções de lixiviado adicionadas. Essas informações foram mapeadas e, conforme a metodologia apresentada, foram calculadas as horas de operação diária, a produção diária de energia e a produção mensal de energia, assim como foram calculados, o custo mensal médio e a economia mensal média, em cada ETE, para cada proporção de lixiviado de aterro sanitário adicionado ao esgoto sanitário. Estas informações são apresentadas nas Tabelas 13 a 19.

Tabela 13: Informações energéticas com o uso o motor-gerador de ciclo Otto escolhido para ETEs, somente para esgoto sanitário.

Parâmetro	Unid.	ERQ Sul	ERQ Oeste	ETE Barra	ETE Rosa Elze
Potência elétrica disponível	kW	44	34	4	17
Grupo gerador recomendado pelo fornecedor	-	MWM120	MWM120	MWM30	MWM30
Potência gerada em base load com a concessionária de energia	kW	77	77	20	20
Consumo de biogás com 60% de CH ₄	m ³ /h	56	56	13	13
Produção normalizada de biogás	Nm ³ /d	477	382	43	154
Horas de operação com potência máxima	h	8	6	3	11
Produção diária de energia	kWh	616	462	60	220

Fonte: Autora (2020).

Tabela 14: Informações energéticas com o uso o motor-gerador de ciclo Otto escolhido para ETEs, com adição de 0,5% de lixiviado de aterro sanitário ao esgoto sanitário

Parâmetro	Unid.	ERQ Sul	ERQ Oeste	ETE Barra	ETE Rosa Elze
Potência elétrica disponível	kW	45	35	4	17
Grupo gerador recomendado pelo fornecedor	-	MWM120	MWM120	MWM30	MWM30
Potência gerada em base load com a concessionária de energia	kW	77	77	20	20
Consumo de biogás com 60% de CH ₄	m ³ /h	56	56	13	13
Produção normalizada de biogás	Nm ³ /d	507	411	46	161
Horas de operação com potência máxima	h	9	7	3	12
Produção diária de energia	kWh	693	539	60	240

Fonte: Autora (2020).

Tabela 15: Informações energéticas com o uso o motor-gerador de ciclo Otto escolhido para ETEs, com adição de 1% de lixiviado de aterro sanitário ao esgoto sanitário.

Parâmetro	Unid.	ERQ Sul	ERQ Oeste	ETE Barra	ETE Rosa Elze
Potência elétrica disponível	kW	48	38	4	16
Grupo gerador recomendado pelo fornecedor	-	MWM120	MWM120	MWM30	MWM30
Potência gerada em base load com a concessionária de energia	kW	77	77	20	20
Consumo de biogás com 60% de CH ₄	m ³ /h	56	56	13	13
Produção normalizada de biogás	Nm ³ /d	538	440	49	157
Horas de operação com potência máxima	h	9	7	3	12
Produção diária de energia	kWh	693	539	60	240

Fonte: Autora (2020).

Tabela 16: Informações energéticas com o uso o motor-gerador de ciclo Otto escolhido para ETEs, com adição de 2% de lixiviado de aterro sanitário ao esgoto sanitário.

Parâmetro	Unid.	ERQ Sul	ERQ Oeste	ETE Barra	ETE Rosa Elze
Potência elétrica disponível	kW	52	44	5	18
Grupo gerador recomendado pelo fornecedor	-	MWM120	MWM120	MWM30	MWM30
Potência gerada em base load com a concessionária de energia	kW	77	77	20	20
Consumo de biogás com 60% de CH ₄	m ³ /h	56	56	13	13
Produção normalizada de biogás	Nm ³ /d	507	501	46	172
Horas de operação com potência máxima	h	9	8	3	13
Produção diária de energia	kWh	693	616	60	260

Fonte: Autora (2020).

Tabela 17: Informações energéticas com o uso o motor-gerador de ciclo Otto escolhido para ETEs, com adição de 3% de lixiviado de aterro sanitário ao esgoto sanitário.

Parâmetro	Unid.	ERQ Sul	ERQ Oeste	ETE Barra	ETE Rosa Elze
Potência elétrica disponível	kW	58	50	5	19
Grupo gerador recomendado pelo fornecedor	-	MWM120	MWM120	MWM30	MWM30
Potência gerada em base load com a concessionária de energia	kW	77	77	20	20
Consumo de biogás com 60% de CH ₄	m ³ /h	56	56	13	13
Produção normalizada de biogás	Nm ³ /d	564	566	52	186
Horas de operação com potência máxima	h	10	10	3	14
Produção diária de energia	kWh	770	770	60	280

Fonte: Autora (2020).

Tabela 18: Informações energéticas com o uso o motor-gerador de ciclo Otto escolhido para ETEs, com adição de 4% de lixiviado de aterro sanitário ao esgoto sanitário.

Parâmetro	Unid.	ERQ Sul	ERQ Oeste	ETE Barra	ETE Rosa Elze
Potência elétrica disponível	kW	46	55	6	21
Grupo gerador recomendado pelo fornecedor	-	MWM120	MWM120	MWM30	MWM30
Potência gerada em base load com a concessionária de energia	kW	77	77	20	20
Consumo de biogás com 60% de CH ₄	m ³ /h	56	56	13	13
Produção normalizada de biogás	Nm ³ /d	579	535	57	200
Horas de operação com potência máxima	h	10	9	4	15
Produção diária de energia	kWh	770	693	80	300

Fonte: Autora (2020).

Tabela 19: Informações energéticas com o uso o motor-gerador de ciclo Otto escolhido para ETEs, com adição de 5% de lixiviado de aterro sanitário ao esgoto sanitário.

Parâmetro	Unid.	ERQ Sul	ERQ Oeste	ETE Barra	ETE Rosa Elze
Potência elétrica disponível	kW	65	61	6	22
Grupo gerador recomendado pelo fornecedor	-	MWM120	MWM120	MWM30	MWM30
Potência gerada em base load com a concessionária de energia	kW	77	77	20	20
Consumo de biogás com 60% de CH ₄	m ³ /h	56	56	13	13
Produção normalizada de biogás	Nm ³ /d	635,3	596,3	58,9	214,3
Horas de operação com potência máxima	h	11	10	4	16
Produção diária de energia	kWh	847	770	80	320

Fonte: Autora (2020).

Observa-se que a ETE Barra apresenta potência disponível menor que aquela gerada pelo menor motor-gerador disponível no mercado, mesmo com a maior proporção adicionada de lixiviado de aterro sanitário ao esgoto sanitário recebido na estação. Esta estação é também, a menor produtora de energia via o uso do biogás.

4.4.2 Outras unidades componentes do sistema de aproveitamento do biogás

Assim como em Miranda (2018), as outras unidades componentes foram escolhidas com base no estudo de viabilidade realizado por Brasil (2015b). Adotaram-se gasodutos em polietileno de alta densidade (PEAD), válvulas de bloqueio, removedores de água condensada e manômetros para indicação de sobrepressão, para as unidades de coleta e transporte do biogás.

Para o armazenamento, consideraram-se gasômetros de baixa pressão com membrana dupla, que de acordo com Brasil (2015b), são recomendados para pequenas e médias plantas de biogás, por serem mais viáveis economicamente do que os gasômetros de alta pressão. Miranda (2018) ressalta que, por falta de prognósticos precisos relativos à geração de biogás ao longo de um período suficientemente longo, os volumes dos gasômetros foram estimados a partir da proporção entre o volume de biogás gerado em cada ETE e o volume de biogás do estudo de Brasil (2015b).

No que diz respeito ao tratamento do biogás, optou-se pela biodessulfurização interna (no interior do gasômetro), por ser uma alternativa que agrega a qualidade adequada ao biogás exigida pelos motor-geradores a gás a um menor custo.

Por fim, medidores de vazão tipo *vortex*, monitores de composição de biogás (analisador) e queimador aberto também foram incluídos nos custos.

4.5 CUSTOS

4.5.1 CAPEX – Custos de investimento

Os custos apresentados nesta seção são relativos aos equipamentos dos sistemas de aproveitamento e às adequações adicionais. As Tabelas 20 a 23 mostram o detalhamento dos custos acrescidos do BDI em cada ETE, para cada proporção adicionada de lixiviado de aterro sanitário ao esgoto sanitário recebido em cada uma das estações.

Ressalta-se a importância da manutenção preventiva dos reatores UASB, a fim de evitar perdas do biogás e garantir eficiência no tratamento do efluente. Este custo não foi contabilizado, por não se tratar de medidas exclusivas do aproveitamento do biogás.

Tabela 20: Custos de investimento da ERQ Sul.

CAPEX - ERQ Sul	Esgoto sanitário puro	0,5% Lixiviado	1% Lixiviado	2% Lixiviado	3% Lixiviado	4% Lixiviado	5% Lixiviado
Custos adicionais de adequação							
Item	Custo com BDI (R\$)						
Abrigo para motor-gerador	9.313,50	9.313,50	9.313,50	9.313,50	9.313,50	9.313,50	9.313,50
Sistema de remoção de espuma	37.480,07	37.480,07	37.480,07	37.480,07	37.480,07	37.480,07	37.480,07
Subtotal	46.793,57	46.793,57	46.793,57	46.793,57	46.793,57	46.793,57	46.793,57
Equipamentos							
Item	Custo com BDI (R\$)						
Motor-gerador com painel automático - GMWM 120 kVA	307.432,40	307.432,40	307.432,40	307.432,40	307.432,40	307.432,40	307.432,40
Sistema de tratamento de biogás – biodessulfurização	52.941,59	56.232,66	59.645,63	56.212,35	62.499,93	64.226,72	70.443,20
Gasômetro	102.342,07	108.738,45	115.134,83	108.738,45	120.251,94	124.089,76	135.603,25
Sistema de captação de biogás	44.141,78	46.885,82	49.731,49	46.868,88	52.111,35	53.551,12	58.734,31
Sistema de transporte de biogás	89.943,93	89.943,93	89.943,93	89.943,93	89.943,93	89.943,93	89.943,93
Instalações elétricas	79.164,36	79.164,36	79.164,36	79.164,36	79.164,36	79.164,36	79.164,36
Medição de vazão de biogás	45.047,08	45.047,08	45.047,08	45.047,08	45.047,08	45.047,08	45.047,08
Medição de composição de biogás	129.723,47	129.723,47	129.723,47	129.723,47	129.723,47	129.723,47	129.723,47
Sistema de queima com queimador aberto	29.400,67	31.228,34	33.123,70	31.217,05	34.708,81	35.667,77	39.120,03
Subtotal	880.137,35	894.396,51	908.946,89	894.347,98	920.883,26	928.846,62	955.212,03
Total	926.930,92	941.190,08	955.740,46	941.141,55	967.676,83	975.640,19	1.002.005,60

Fonte: Autora (2020).

Tabela 21: Custos de investimento da ERQ Oeste.

CAPEX - ERQ Oeste	Esgoto sanitário puro	0,5% Lixiviado	1% Lixiviado	2% Lixiviado	3% Lixiviado	4% Lixiviado	5% Lixiviado
Custos adicionais de adequação							
Item	Custo com BDI (R\$)						
Abrigo para motor-gerador	9.313,50	9.313,50	9.313,50	9.313,50	9.313,50	9.313,50	9.313,50
Sistema de remoção de espuma	39.627,82	39.627,82	39.627,82	39.627,82	39.627,82	39.627,82	39.627,82
Subtotal	48.941,32	48.941,32	48.941,32	48.941,32	48.941,32	48.941,32	48.941,32
Equipamentos							
Item	Custo com BDI (R\$)						
Motor-gerador com painel automático - GMWM 120 kVA	307.432,40	307.432,40	307.432,40	307.432,40	307.432,40	307.432,40	307.432,40
Sistema de tratamento de biogás – biodessulfurização	42.387,81	45.556,99	48.797,28	55.572,42	62.794,50	59.320,59	66.116,04
Gasômetro	81.873,66	88.270,04	93.387,14	107.459,18	121.531,21	113.855,56	127.927,59
Sistema de captação de biogás	35.342,22	37.984,62	40.686,32	46.335,31	52.356,96	49.460,47	55.126,40
Sistema de transporte de biogás	89.943,93	89.943,93	89.943,93	89.943,93	89.943,93	89.943,93	89.943,93
Instalações elétricas	79.164,36	79.164,36	79.164,36	79.164,36	79.164,36	79.164,36	79.164,36
Medição de vazão de biogás	45.047,08	45.047,08	45.047,08	45.047,08	45.047,08	45.047,08	45.047,08
Medição de composição de biogás	129.723,47	129.723,47	129.723,47	129.723,47	129.723,47	129.723,47	129.723,47
Sistema de queima com queimador aberto	23.539,71	25.299,69	27.099,16	30.861,67	34.872,39	32.943,19	36.716,99
Subtotal	834.454,64	848.422,59	861.281,13	891.539,82	922.866,30	906.891,04	937.198,27
Total	883.395,95	897.363,90	910.222,45	940.481,14	971.807,62	955.832,36	986.139,58

Fonte: Autora (2020).

Tabela 22: Custos de investimento da ETE Barra.

CAPEX - ETE Barra	Esgoto sanitário puro	0,5% Lixiviado	1% Lixiviado	2% Lixiviado	3% Lixiviado	4% Lixiviado	5% Lixiviado
Custos adicionais de adequação							
Item	Custo com BDI (R\$)						
Abrigo para motor-gerador	9.313,50	9.313,50	9.313,50	9.313,50	9.313,50	9.313,50	9.313,50
Sistema de remoção de espuma	3.697,16	3.697,16	3.697,16	3.697,16	3.697,16	3.697,16	3.697,16
Subtotal	13.010,66	13.010,66	13.010,66	13.010,66	13.010,66	13.010,66	13.010,66
Equipamentos							
Item	Custo com BDI (R\$)						
Motor-gerador com painel automático - GMWM 30 kVA	223.057,60	223.057,60	223.057,60	223.057,60	223.057,60	223.057,60	223.057,60
Sistema de tratamento de biogás – biodessulfurização	4.774,09	5.139,76	5.403,86	5.099,13	5.728,91	6.358,68	6.531,36
Gasômetro	8.954,93	10.234,21	10.234,21	10.234,21	11.513,48	12.792,76	12.792,76
Sistema de captação de biogás	3.980,55	4.285,44	4.505,65	4.251,57	4.776,66	5.301,76	5.445,73
Sistema de transporte de biogás	89.943,93	89.943,93	89.943,93	89.943,93	89.943,93	89.943,93	89.943,93
Instalações elétricas	73.155,68	73.155,68	73.155,68	73.155,68	73.155,68	73.155,68	73.155,68
Medição de vazão de biogás	45.047,08	45.047,08	45.047,08	45.047,08	45.047,08	45.047,08	45.047,08
Medição de composição de biogás	129.723,47	129.723,47	129.723,47	129.723,47	129.723,47	129.723,47	129.723,47
Sistema de queima com queimador aberto	2.651,25	2.854,32	3.000,99	2.831,76	3.181,50	3.531,24	3.627,14
Subtotal	581.288,58	583.441,50	584.072,47	583.344,43	586.128,31	588.912,20	589.324,75
Total	594.299,24	596.452,16	597.083,12	596.355,09	599.138,97	601.922,85	602.335,41

Fonte: Autora (2020).

Tabela 23: Custos de investimento da ETE Rosa Elze.

CAPEX - ERQ Sul	Esgoto sanitário puro	0,5% Lixiviado	1% Lixiviado	2% Lixiviado	3% Lixiviado	4% Lixiviado	5% Lixiviado
Custos adicionais de adequação							
Item	Custo com BDI (R\$)						
Abrigo para motor-gerador	9.313,50	9.313,50	9.313,50	9.313,50	9.313,50	9.313,50	9.313,50
Sistema de remoção de espuma	9.928,19	9.928,19	9.928,19	9.928,19	9.928,19	9.928,19	9.928,19
Subtotal	19.241,69	19.241,69	19.241,69	19.241,69	19.241,69	19.241,69	19.241,69
Equipamentos							
Item	Custo com BDI (R\$)						
Motor-gerador com painel automático - GMWM 30 kVA	223.057,60	223.057,60	223.057,60	223.057,60	223.057,60	223.057,60	223.057,60
Sistema de tratamento de biogás – biodessulfurização	17.054,67	17.857,12	17.450,82	19.045,56	20.630,16	22.204,59	23.758,71
Gasômetro	33.261,17	34.540,45	33.261,17	37.099,00	39.657,55	42.216,11	46.053,93
Sistema de captação de biogás	14.219,89	14.888,96	14.550,19	15.879,86	17.201,06	18.513,80	19.809,60
Sistema de transporte de biogás	89.943,93	89.943,93	89.943,93	89.943,93	89.943,93	89.943,93	89.943,93
Instalações elétricas	73.155,68	73.155,68	73.155,68	73.155,68	73.155,68	73.155,68	73.155,68
Medição de vazão de biogás	45.047,08	45.047,08	45.047,08	45.047,08	45.047,08	45.047,08	45.047,08
Medição de composição de biogás	129.723,47	129.723,47	129.723,47	129.723,47	129.723,47	129.723,47	129.723,47
Sistema de queima com queimador aberto	9.471,17	9.916,80	9.691,16	10.576,79	11.456,78	12.331,13	13.194,20
Subtotal	634.934,66	638.131,09	635.881,10	643.528,98	649.873,32	656.193,39	663.744,20
Total	654.176,34	657.372,78	655.122,79	662.770,67	669.115,01	675.435,07	682.985,88

Fonte: Autora (2020).

4.5.2 OPEX – Custos de Operação de Manutenção

Os custos com manutenção e reparo foram calculados para o período de um ano e estão descritos nas tabelas 24 a 51.

Tabela 24: Custos com manutenção e reparo da ERQ Sul recebendo somente esgoto sanitário.

OPEX - ERQ Sul – Esgoto sanitário puro				
Item	Unidade	Custo unit. (R\$)	Qtd.	Custo total (R\$)
Manutenção e reparação de geração	h/ano	2,79	2.920	8.146,80
Manutenção do sistema de tratamento de gás	m³/ano	0,0270	190.238	5.136,43
Manutenção do gasômetro	unid.	1.795,16	1	1.795,16
Manutenção do sistema de captação de biogás	unid.	774,28	1	774,28
Manutenção do sistema de transporte de biogás	unid.	1.577,69	1	1.577,69
Manutenção do sistema das instalações elétricas	unid.	1.388,60	1	1.388,60
Manutenção da medição de vazão de biogás	unid.	790,16	1	790,16
Manutenção da medição de composição de biogás	unid.	2.275,45	1	2.275,45
Manutenção do sistema de queima	unid.	515,71	1	515,71
Análises laboratoriais - óleo lubrificante	unid.	185,00	12	2.220,00
Custos gerais	unid.	37,60	77	2.895,20
Total				27.515,48

Fonte: Autora (2020).

Tabela 25: Custos com manutenção e reparo da ERQ Sul recebendo mistura com 0,5% de lixiviado de aterro sanitário.

OPEX - ERQ Sul – 0,5% lixiviado				
Item	Unidade	Custo unit. (R\$)	Qtd.	Custo total (R\$)
Manutenção e reparação de geração	h/ano	2,79	3.285	9.165,15
Manutenção do sistema de tratamento de gás	m³/ano	0,0270	202.064	5.455,73
Manutenção do gasômetro	unid.	1.907,36	1	1.907,36
Manutenção do sistema de captação de biogás	unid.	822,41	1	822,41
Manutenção do sistema de transporte de biogás	unid.	1.577,69	1	1.577,69
Manutenção do sistema das instalações elétricas	unid.	1.388,60	1	1.388,60
Manutenção da medição de vazão de biogás	unid.	790,16	1	790,16
Manutenção da medição de composição de biogás	unid.	2.275,45	1	2.275,45
Manutenção do sistema de queima	unid.	547,77	1	547,77
Análises laboratoriais - óleo lubrificante	unid.	185,00	12	2.220,00
Custos gerais	unid.	37,60	77	2.895,20
Total				29.045,52

Fonte: Autora (2020).

Tabela 26: Custos com manutenção e reparo da ERQ Sul recebendo mistura com 1% de lixiviado de aterro sanitário.

OPEX - ERQ Sul – 1% lixiviado				
Item	Unidade	Custo unit. (R\$)	Qtd.	Custo total (R\$)
Manutenção e reparação de geração	h/ano	2,79	3.285	9.165,15
Manutenção do sistema de tratamento de gás	m³/ano	0,0270	214.328	5.786,86
Manutenção do gasômetro	unid.	2.019,56	1	2.019,56
Manutenção do sistema de captação de biogás	unid.	872,33	1	872,33
Manutenção do sistema de transporte de biogás	unid.	1.577,69	1	1.577,69
Manutenção do sistema das instalações elétricas	unid.	1.388,60	1	1.388,60
Manutenção da medição de vazão de biogás	unid.	790,16	1	790,16
Manutenção da medição de composição de biogás	unid.	2.275,45	1	2.275,45
Manutenção do sistema de queima	unid.	581,02	1	581,02
Análises laboratoriais - óleo lubrificante	unid.	185,00	12	2.220,00
Custos gerais	unid.	37,60	77	2.895,20
Total				29.572,01

Fonte: Autora (2020).

Tabela 27: Custos com manutenção e reparo da ERQ Sul recebendo mistura com 2% de lixiviado de aterro sanitário.

OPEX - ERQ Sul – 2% lixiviado				
Item	Unidade	Custo unit. (R\$)	Qtd.	Custo total (R\$)
Manutenção e reparação de geração	h/ano	2,79	3.285	9.165,15
Manutenção do sistema de tratamento de gás	m³/ano	0,0270	201.991	5.453,76
Manutenção do gasômetro	unid.	1.907,36	1	1.907,36
Manutenção do sistema de captação de biogás	unid.	822,12	1	822,12
Manutenção do sistema de transporte de biogás	unid.	1.577,69	1	1.577,69
Manutenção do sistema das instalações elétricas	unid.	1.388,60	1	1.388,60
Manutenção da medição de vazão de biogás	unid.	790,16	1	790,16
Manutenção da medição de composição de biogás	unid.	2.275,45	1	2.275,45
Manutenção do sistema de queima	unid.	547,57	1	547,57
Análises laboratoriais - óleo lubrificante	unid.	185,00	12	2.220,00
Custos gerais	unid.	37,60	77	2.895,20
Total				29.043,06

Fonte: Autora (2020).

Tabela 28: Custos com manutenção e reparo da ERQ Sul recebendo mistura com 3% de lixiviado de aterro sanitário.

OPEX - ERQ Sul – 3% lixiviado				
Item	Unidade	Custo unit. (R\$)	Qtd.	Custo total (R\$)
Manutenção e reparação de geração	h/ano	2,79	3.650	10.183,50
Manutenção do sistema de tratamento de gás	m³/ano	0,0270	154.870	4.181,48
Manutenção do gasômetro	unid.	2.109,31	1	2.109,31
Manutenção do sistema de captação de biogás	unid.	914,07	1	914,07
Manutenção do sistema de transporte de biogás	unid.	1.577,69	1	1.577,69
Manutenção do sistema das instalações elétricas	unid.	197,62	1	197,62
Manutenção da medição de vazão de biogás	unid.	790,16	1	790,16
Manutenção da medição de composição de biogás	unid.	2.275,45	1	2.275,45
Manutenção do sistema de queima	unid.	608,82	1	608,82
Análises laboratoriais - óleo lubrificante	unid.	185,00	12	2.220,00
Custos gerais	unid.	37,60	77	2.895,20
Total				27.953,30

Fonte: Autora (2020).

Tabela 29: Custos com manutenção e reparo da ERQ Sul recebendo mistura com 4% de lixiviado de aterro sanitário.

OPEX - ERQ Sul – 4% lixiviado				
Item	Unidade	Custo unit. (R\$)	Qtd.	Custo total (R\$)
Manutenção e reparação de geração	h/ano	2,79	2.920	8.146,80
Manutenção do sistema de tratamento de gás	m³/ano	0,0270	190.238	5.136,43
Manutenção do gasômetro	unid.	2.176,63	1	1.795,16
Manutenção do sistema de captação de biogás	unid.	939,33	1	774,28
Manutenção do sistema de transporte de biogás	unid.	1.577,69	1	1.577,69
Manutenção do sistema das instalações elétricas	unid.	1.388,60	1	1.388,60
Manutenção da medição de vazão de biogás	unid.	790,16	1	790,16
Manutenção da medição de composição de biogás	unid.	2.275,45	1	2.275,45
Manutenção do sistema de queima	unid.	625,64	1	515,71
Análises laboratoriais - óleo lubrificante	unid.	185,00	12	2.220,00
Custos gerais	unid.	37,60	77	2.895,20
Total				31.303,52

Fonte: Autora (2020).

Tabela 30: Custos com manutenção e reparo da ERQ Sul recebendo mistura com 5% de lixiviado de aterro sanitário.

OPEX - ERQ Sul – 5% lixiviado				
Item	Unidade	Custo unit. (R\$)	Qtd.	Custo total (R\$)
Manutenção e reparação de geração	h/ano	2,79	4.015	11.201,85
Manutenção do sistema de tratamento de gás	m³/ano	0,0270	253.128	6.834,44
Manutenção do gasômetro	unid.	2.378,59	1	2.378,59
Manutenção do sistema de captação de biogás	unid.	1.030,25	1	1.030,25
Manutenção do sistema de transporte de biogás	unid.	1.577,69	1	1.577,69
Manutenção do sistema das instalações elétricas	unid.	1.388,60	1	1.388,60
Manutenção da medição de vazão de biogás	unid.	790,16	1	790,16
Manutenção da medição de composição de biogás	unid.	2.275,45	1	2.275,45
Manutenção do sistema de queima	unid.	686,20	1	686,20
Análises laboratoriais - óleo lubrificante	unid.	185,00	12	2.220,00
Custos gerais	unid.	37,60	77	2.895,20
Total				33.278,43

Fonte: Autora (2020).

Tabela 31: Custos com manutenção e reparo da ERQ Oeste recebendo somente esgoto sanitário.

OPEX - ERQ Oeste – Esgoto sanitário puro				
Item	Unidade	Custo unit. (R\$)	Qtd.	Custo total (R\$)
Manutenção e reparação de geração	h/ano	2,79	2.190	6.110,10
Manutenção do sistema de tratamento de gás	m³/ano	0,0270	152.315	4.112,49
Manutenção do gasômetro	unid.	1.436,13	1	1.436,13
Manutenção do sistema de captação de biogás	unid.	619,93	1	619,93
Manutenção do sistema de transporte de biogás	unid.	1.577,69	1	1.577,69
Manutenção do sistema das instalações elétricas	unid.	1.388,60	1	1.388,60
Manutenção da medição de vazão de biogás	unid.	790,16	1	790,16
Manutenção da medição de composição de biogás	unid.	2.275,45	1	2.275,45
Manutenção do sistema de queima	unid.	412,90	1	412,90
Análises laboratoriais - óleo lubrificante	unid.	185,00	12	2.220,00
Custos gerais	unid.	37,60	77	2.895,20
Total				23.838,66

Fonte: Autora (2020).

Tabela 32: Custos com manutenção e reparo da ERQ Oeste recebendo mistura com 0,5% de lixiviado de aterro sanitário

OPEX - ERQ Oeste – 0,5% lixiviado				
Item	Unidade	Custo unit. (R\$)	Qtd.	Custo total (R\$)
Manutenção e reparação de geração	h/ano	2,79	2.555	7.128,45
Manutenção do sistema de tratamento de gás	m³/ano	0,0270	163.703	4.419,97
Manutenção do gasômetro	unid.	1.548,33	1	1.548,33
Manutenção do sistema de captação de biogás	unid.	666,28	1	666,28
Manutenção do sistema de transporte de biogás	unid.	1.577,69	1	1.577,69
Manutenção do sistema das instalações elétricas	unid.	1.388,60	1	1.388,60
Manutenção da medição de vazão de biogás	unid.	790,16	1	790,16
Manutenção da medição de composição de biogás	unid.	2.275,45	1	2.275,45
Manutenção do sistema de queima	unid.	443,78	1	443,78
Análises laboratoriais - óleo lubrificante	unid.	185,00	12	2.220,00
Custos gerais	unid.	37,60	77	2.895,20
Total				25.353,90

Fonte: Autora (2020).

Tabela 33: Custos com manutenção e reparo da ERQ Oeste recebendo mistura com 1% de lixiviado de aterro sanitário.

OPEX - ERQ Oeste – 1% lixiviado				
Item	Unidade	Custo unit. (R\$)	Qtd.	Custo total (R\$)
Manutenção e reparação de geração	h/ano	2,79	2.555	7.128,45
Manutenção do sistema de tratamento de gás	m³/ano	0,0270	175.346	4.734,34
Manutenção do gasômetro	unid.	1.638,08	1	1.638,08
Manutenção do sistema de captação de biogás	unid.	713,67	1	713,67
Manutenção do sistema de transporte de biogás	unid.	1.577,69	1	1.577,69
Manutenção do sistema das instalações elétricas	unid.	1.388,60	1	1.388,60
Manutenção da medição de vazão de biogás	unid.	790,16	1	790,16
Manutenção da medição de composição de biogás	unid.	2.275,45	1	2.275,45
Manutenção do sistema de queima	unid.	475,34	1	475,34
Análises laboratoriais - óleo lubrificante	unid.	185,00	12	2.220,00
Custos gerais	unid.	37,60	77	2.895,20
Total				25.836,99

Fonte: Autora (2020).

Tabela 34: Custos com manutenção e reparo da ERQ Oeste recebendo mistura com 2% de lixiviado de aterro sanitário.

OPEX - ERQ Oeste – 2% lixiviado				
Item	Unidade	Custo unit. (R\$)	Qtd.	Custo total (R\$)
Manutenção e reparação de geração	h/ano	2,79	2.920	8.146,80
Manutenção do sistema de tratamento de gás	m³/ano	0,0270	199.692	5.391,67
Manutenção do gasômetro	unid.	1.884,92	1	1.884,92
Manutenção do sistema de captação de biogás	unid.	812,76	1	812,76
Manutenção do sistema de transporte de biogás	unid.	1.577,69	1	1.577,69
Manutenção do sistema das instalações elétricas	unid.	1.388,60	1	1.388,60
Manutenção da medição de vazão de biogás	unid.	790,16	1	790,16
Manutenção da medição de composição de biogás	unid.	2.275,45	1	2.275,45
Manutenção do sistema de queima	unid.	541,34	1	541,34
Análises laboratoriais - óleo lubrificante	unid.	185,00	12	2.220,00
Custos gerais	unid.	37,60	77	2.895,20
Total				27.924,59

Fonte: Autora (2020).

Tabela 35: Custos com manutenção e reparo da ERQ Oeste recebendo mistura com 3% de lixiviado de aterro sanitário.

OPEX - ERQ Oeste – 3% lixiviado				
Item	Unidade	Custo unit. (R\$)	Qtd.	Custo total (R\$)
Manutenção e reparação de geração	h/ano	2,79	3.650	10.183,50
Manutenção do sistema de tratamento de gás	m³/ano	0,0270	135.452	3.657,19
Manutenção do gasômetro	unid.	2.131,75	1	2.131,75
Manutenção do sistema de captação de biogás	unid.	918,38	1	918,38
Manutenção do sistema de transporte de biogás	unid.	1.577,69	1	1.577,69
Manutenção do sistema das instalações elétricas	unid.	1.388,60	1	1.388,60
Manutenção da medição de vazão de biogás	unid.	790,16	1	790,16
Manutenção da medição de composição de biogás	unid.	2.275,45	1	2.275,45
Manutenção do sistema de queima	unid.	611,69	1	611,69
Análises laboratoriais - óleo lubrificante	unid.	185,00	12	2.220,00
Custos gerais	unid.	37,60	77	2.895,20
Total				28.649,62

Fonte: Autora (2020).

Tabela 36: Custos com manutenção e reparo da ERQ Oeste recebendo mistura com 4% de lixiviado de aterro sanitário.

OPEX - ERQ Oeste – 4% lixiviado				
Item	Unidade	Custo unit. (R\$)	Qtd.	Custo total (R\$)
Manutenção e reparação de geração	h/ano	2,79	3.285	9.165,15
Manutenção do sistema de tratamento de gás	m³/ano	0,0270	213.160	5.755,32
Manutenção do gasômetro	unid.	1.997,12	1	1.997,12
Manutenção do sistema de captação de biogás	unid.	867,58	1	867,58
Manutenção do sistema de transporte de biogás	unid.	1.577,69	1	1.577,69
Manutenção do sistema das instalações elétricas	unid.	1.388,60	1	1.388,60
Manutenção da medição de vazão de biogás	unid.	790,16	1	790,16
Manutenção da medição de composição de biogás	unid.	2.275,45	1	2.275,45
Manutenção do sistema de queima	unid.	577,85	1	577,85
Análises laboratoriais - óleo lubrificante	unid.	185,00	12	2.220,00
Custos gerais	unid.	37,60	77	2.895,20
Total				29.510,11

Fonte: Autora (2020).

Tabela 37: Custos com manutenção e reparo da ERQ Oeste recebendo mistura com 5% de lixiviado de aterro sanitário.

OPEX - ERQ Oeste – 5% lixiviado				
Item	Unidade	Custo unit. (R\$)	Qtd.	Custo total (R\$)
Manutenção e reparação de geração	h/ano	2,79	3.650	10.183,50
Manutenção do sistema de tratamento de gás	m³/ano	0,0270	237.579	6.414,62
Manutenção do gasômetro	unid.	2.243,95	1	2.243,95
Manutenção do sistema de captação de biogás	unid.	966,96	1	966,96
Manutenção do sistema de transporte de biogás	unid.	1.577,69	1	1.577,69
Manutenção do sistema das instalações elétricas	unid.	1.388,60	1	1.388,60
Manutenção da medição de vazão de biogás	unid.	790,16	1	790,16
Manutenção da medição de composição de biogás	unid.	2.275,45	1	2.275,45
Manutenção do sistema de queima	unid.	644,04	1	644,04
Análises laboratoriais - óleo lubrificante	unid.	185,00	12	2.220,00
Custos gerais	unid.	37,60	77	2.895,20
Total				29.510,11

Fonte: Autora (2020).

Tabela 38: Custos com manutenção e reparo da ETE Barra recebendo somente esgoto sanitário

OPEX – ETE Barra – Esgoto sanitário puro				
Item	Unidade	Custo unit. (R\$)	Qtd.	Custo total (R\$)
Manutenção e reparação de geração	h/ano	1,84	1.095	2.014,80
Manutenção do sistema de tratamento de gás	m³/ano	0,0270	17.155	463,19
Manutenção do gasômetro	unid.	157,08	1	157,08
Manutenção do sistema de captação de biogás	unid.	69,82	1	69,82
Manutenção do sistema de transporte de biogás	unid.	1.577,69	1	1.577,69
Manutenção do sistema das instalações elétricas	unid.	1.283,21	1	1.283,21
Manutenção da medição de vazão de biogás	unid.	790,16	1	790,16
Manutenção da medição de composição de biogás	unid.	2.275,45	1	2.275,45
Manutenção do sistema de queima	unid.	46,50	1	46,50
Análises laboratoriais - óleo lubrificante	unid.	185,00	12	2.220,00
Custos gerais	unid.	37,60	20	752,00
Total				11.649,90

Fonte: Autora (2020).

Tabela 39: Custos com manutenção e reparo da ETE Barra recebendo mistura com 0,5% de lixiviado de aterro sanitário.

OPEX – ETE Barra – 0,5% lixiviado				
Item	Unidade	Custo unit. (R\$)	Qtd.	Custo total (R\$)
Manutenção e reparação de geração	h/ano	1,84	1.095	2.014,80
Manutenção do sistema de tratamento de gás	m³/ano	0,0270	18.469	498,66
Manutenção do gasômetro	unid.	179,52	1	179,52
Manutenção do sistema de captação de biogás	unid.	75,17	1	75,17
Manutenção do sistema de transporte de biogás	unid.	1.577,69	1	1.577,69
Manutenção do sistema das instalações elétricas	unid.	1.283,21	1	1.283,21
Manutenção da medição de vazão de biogás	unid.	790,16	1	790,16
Manutenção da medição de composição de biogás	unid.	2.275,45	1	2.275,45
Manutenção do sistema de queima	unid.	50,07	1	50,07
Análises laboratoriais - óleo lubrificante	unid.	185,00	12	2.220,00
Custos gerais	unid.	37,60	20	752,00
Total				11.716,72

Fonte: Autora (2020).

Tabela 40: Custos com manutenção e reparo da ETE Barra recebendo mistura com 1% de lixiviado de aterro sanitário.

OPEX – ETE Barra – 1% lixiviado				
Item	Unidade	Custo unit. (R\$)	Qtd.	Custo total (R\$)
Manutenção e reparação de geração	h/ano	1,84	1.095	2.014,80
Manutenção do sistema de tratamento de gás	m³/ano	0,0270	19.418	524,29
Manutenção do gasômetro	unid.	179,52	1	179,52
Manutenção do sistema de captação de biogás	unid.	79,03	1	79,03
Manutenção do sistema de transporte de biogás	unid.	1.577,69	1	1.577,69
Manutenção do sistema das instalações elétricas	unid.	1.283,21	1	1.283,21
Manutenção da medição de vazão de biogás	unid.	790,16	1	790,16
Manutenção da medição de composição de biogás	unid.	2.275,45	1	2.275,45
Manutenção do sistema de queima	unid.	52,64	1	52,64
Análises laboratoriais - óleo lubrificante	unid.	185,00	12	2.220,00
Custos gerais	unid.	37,60	20	752,00
Total				11.748,78

Fonte: Autora (2020).

Tabela 41: Custos com manutenção e reparo da ETE Barra recebendo mistura com 2% de lixiviado de aterro sanitário.

OPEX – ETE Barra – 2% lixiviado				
Item	Unidade	Custo unit. (R\$)	Qtd.	Custo total (R\$)
Manutenção e reparação de geração	h/ano	1,84	1.095	2.014,80
Manutenção do sistema de tratamento de gás	m³/ano	0,0270	18.323	494,72
Manutenção do gasômetro	unid.	179,52	1	179,52
Manutenção do sistema de captação de biogás	unid.	74,58	1	74,58
Manutenção do sistema de transporte de biogás	unid.	1.577,69	1	1.577,69
Manutenção do sistema das instalações elétricas	unid.	1.283,21	1	1.283,21
Manutenção da medição de vazão de biogás	unid.	790,16	1	790,16
Manutenção da medição de composição de biogás	unid.	2.275,45	1	2.275,45
Manutenção do sistema de queima	unid.	49,67	1	49,67
Análises laboratoriais - óleo lubrificante	unid.	185,00	12	2.220,00
Custos gerais	unid.	37,60	20	752,00
Total				11.711,79

Fonte: Autora (2020).

Tabela 42: Custos com manutenção e reparo da ETE Barra recebendo mistura com 3% de lixiviado de aterro sanitário.

OPEX – ETE Barra – 3% lixiviado				
Item	Unidade	Custo unit. (R\$)	Qtd.	Custo total (R\$)
Manutenção e reparação de geração	h/ano	1,84	1.095	2.014,80
Manutenção do sistema de tratamento de gás	m³/ano	0,0270	14.162	382,37
Manutenção do gasômetro	unid.	201,96	1	201,96
Manutenção do sistema de captação de biogás	unid.	83,79	1	83,79
Manutenção do sistema de transporte de biogás	unid.	1.577,69	1	1.577,69
Manutenção do sistema das instalações elétricas	unid.	1.283,21	1	1.283,21
Manutenção da medição de vazão de biogás	unid.	790,16	1	790,16
Manutenção da medição de composição de biogás	unid.	2.275,45	1	2.275,45
Manutenção do sistema de queima	unid.	55,81	1	55,81
Análises laboratoriais - óleo lubrificante	unid.	185,00	12	2.220,00
Custos gerais	unid.	37,60	20	752,00
Total				11.637,23

Fonte: Autora (2020).

Tabela 43: Custos com manutenção e reparo da ETE Barra recebendo mistura com 4% de lixiviado de aterro sanitário.

OPEX – ETE Barra – 4% lixiviado				
Item	Unidade	Custo unit. (R\$)	Qtd.	Custo total (R\$)
Manutenção e reparação de geração	h/ano	1,84	1.460	2.686,40
Manutenção do sistema de tratamento de gás	m³/ano	0,0270	22.849	616,92
Manutenção do gasômetro	unid.	224,40	1	224,40
Manutenção do sistema de captação de biogás	unid.	93,00	1	93,00
Manutenção do sistema de transporte de biogás	unid.	1.577,69	1	1.577,69
Manutenção do sistema das instalações elétricas	unid.	1.283,21	1	1.283,21
Manutenção da medição de vazão de biogás	unid.	790,16	1	790,16
Manutenção da medição de composição de biogás	unid.	2.275,45	1	2.275,45
Manutenção do sistema de queima	unid.	61,94	1	61,94
Análises laboratoriais - óleo lubrificante	unid.	185,00	12	2.220,00
Custos gerais	unid.	37,60	20	752,00
Total				12.581,16

Fonte: Autora (2020).

Tabela 44: Custos com manutenção e reparo da ETE Barra recebendo mistura com 5% de lixiviado de aterro sanitário.

OPEX – ETE Barra – 5% lixiviado				
Item	Unidade	Custo unit. (R\$)	Qtd.	Custo total (R\$)
Manutenção e reparação de geração	h/ano	1,84	1.460	2.686,40
Manutenção do sistema de tratamento de gás	m³/ano	0,0270	23.470	633,68
Manutenção do gasômetro	unid.	224,40	1	224,40
Manutenção do sistema de captação de biogás	unid.	95,52	1	95,52
Manutenção do sistema de transporte de biogás	unid.	1.577,69	1	1.577,69
Manutenção do sistema das instalações elétricas	unid.	1.283,21	1	1.283,21
Manutenção da medição de vazão de biogás	unid.	790,16	1	790,16
Manutenção da medição de composição de biogás	unid.	2.275,45	1	2.275,45
Manutenção do sistema de queima	unid.	63,62	1	63,62
Análises laboratoriais - óleo lubrificante	unid.	185,00	12	2.220,00
Custos gerais	unid.	37,60	20	752,00
Total				12.602,12

Fonte: Autora (2020).

Tabela 45: Custos com manutenção e reparo da ETE Rosa Elze recebendo somente esgoto sanitário.

OPEX – ETE Rosa Elze – Esgoto sanitário puro				
Item	Unidade	Custo unit. (R\$)	Qtd.	Custo total (R\$)
Manutenção e reparação de geração	h/ano	1,84	5.840	10.745,60
Manutenção do sistema de tratamento de gás	m³/ano	0,0270	61.284	1.654,65
Manutenção do gasômetro	unid.	583,43	1	583,43
Manutenção do sistema de captação de biogás	unid.	249,43	1	249,43
Manutenção do sistema de transporte de biogás	unid.	1.577,69	1	1.577,69
Manutenção do sistema das instalações elétricas	unid.	1.283,21	1	1.283,21
Manutenção da medição de vazão de biogás	unid.	790,16	1	790,16
Manutenção da medição de composição de biogás	unid.	2.275,45	1	2.275,45
Manutenção do sistema de queima	unid.	166,13	1	166,13
Análises laboratoriais - óleo lubrificante	unid.	185,00	12	2.220,00
Custos gerais	unid.	37,60	20	752,00
Total				22.297,75

Fonte: Autora (2020).

Tabela 46: Custos com manutenção e reparo da ETE Rosa Elze recebendo mistura com 0,5% de lixiviado de aterro sanitário.

OPEX – ETE Rosa Elze – 0,5% lixiviado				
Item	Unidade	Custo unit. (R\$)	Qtd.	Custo total (R\$)
Manutenção e reparação de geração	h/ano	1,84	4.380	8.059,20
Manutenção do sistema de tratamento de gás	m³/ano	0,0270	64.167	1.732,51
Manutenção do gasômetro	unid.	605,87	1	605,87
Manutenção do sistema de captação de biogás	unid.	261,16	1	261,16
Manutenção do sistema de transporte de biogás	unid.	1.577,69	1	1.577,69
Manutenção do sistema das instalações elétricas	unid.	1.283,21	1	1.283,21
Manutenção da medição de vazão de biogás	unid.	790,16	1	790,16
Manutenção da medição de composição de biogás	unid.	2.275,45	1	2.275,45
Manutenção do sistema de queima	unid.	173,95	1	173,95
Análises laboratoriais - óleo lubrificante	unid.	185,00	12	2.220,00
Custos gerais	unid.	37,60	20	752,00
Total				19.731,19

Fonte: Autora (2020).

Tabela 47: Custos com manutenção e reparo da ETE Rosa Elze recebendo mistura com 1% de lixiviado de aterro sanitário.

OPEX – ETE Rosa Elze – 1% lixiviado				
Item	Unidade	Custo unit. (R\$)	Qtd.	Custo total (R\$)
Manutenção e reparação de geração	h/ano	1,84	4.380	8.059,20
Manutenção do sistema de tratamento de gás	m³/ano	0,0270	62.707	1.693,09
Manutenção do gasômetro	unid.	583,43	1	583,43
Manutenção do sistema de captação de biogás	unid.	255,22	1	255,22
Manutenção do sistema de transporte de biogás	unid.	1.577,69	1	1.577,69
Manutenção do sistema das instalações elétricas	unid.	1.283,21	1	1.283,21
Manutenção da medição de vazão de biogás	unid.	790,16	1	790,16
Manutenção da medição de composição de biogás	unid.	2.275,45	1	2.275,45
Manutenção do sistema de queima	unid.	169,99	1	169,99
Análises laboratoriais - óleo lubrificante	unid.	185,00	12	2.220,00
Custos gerais	unid.	37,60	20	752,00
Total				19.659,44

Fonte: Autora (2020).

Tabela 48: Custos com manutenção e reparo da ETE Rosa Elze recebendo mistura com 2% de lixiviado de aterro sanitário.

OPEX – ETE Rosa Elze – 2% lixiviado				
Item	Unidade	Custo unit. (R\$)	Qtd.	Custo total (R\$)
Manutenção e reparação de geração	h/ano	1,84	4.745	8.730,80
Manutenção do sistema de tratamento de gás	m³/ano	0,0270	68.438	1.847,81
Manutenção do gasômetro	unid.	650,75	1	650,75
Manutenção do sistema de captação de biogás	unid.	278,55	1	278,55
Manutenção do sistema de transporte de biogás	unid.	1.577,69	1	1.577,69
Manutenção do sistema das instalações elétricas	unid.	1.283,21	1	1.283,21
Manutenção da medição de vazão de biogás	unid.	790,16	1	790,16
Manutenção da medição de composição de biogás	unid.	2.275,45	1	2.275,45
Manutenção do sistema de queima	unid.	185,53	1	185,53
Análises laboratoriais - óleo lubrificante	unid.	185,00	12	2.220,00
Custos gerais	unid.	37,60	20	752,00
Total				20.591,94

Fonte: Autora (2020).

Tabela 49: Custos com manutenção e reparo da ETE Rosa Elze recebendo mistura com 3% de lixiviado de aterro sanitário.

OPEX – ETE Rosa Elze – 3% lixiviado				
Item	Unidade	Custo unit. (R\$)	Qtd.	Custo total (R\$)
Manutenção e reparação de geração	h/ano	1,84	5.110	9.402,40
Manutenção do sistema de tratamento de gás	m³/ano	0,0270	51.648	1.394,48
Manutenção do gasômetro	unid.	695,62	1	695,62
Manutenção do sistema de captação de biogás	unid.	301,72	1	301,72
Manutenção do sistema de transporte de biogás	unid.	1.577,69	1	1.577,69
Manutenção do sistema das instalações elétricas	unid.	1.283,21	1	1.283,21
Manutenção da medição de vazão de biogás	unid.	790,16	1	790,16
Manutenção da medição de composição de biogás	unid.	2.275,45	1	2.275,45
Manutenção do sistema de queima	unid.	200,96	1	200,96
Análises laboratoriais - óleo lubrificante	unid.	185,00	12	2.220,00
Custos gerais	unid.	37,60	20	752,00
Total				20.893,70

Fonte: Autora (2020).

Tabela 50: Custos com manutenção e reparo da ETE Rosa Elze recebendo mistura com 4% de lixiviado de aterro sanitário.

OPEX – ETE Rosa Elze – 4% lixiviado				
Item	Unidade	Custo unit. (R\$)	Qtd.	Custo total (R\$)
Manutenção e reparação de geração	h/ano	1,84	5.475	10.074,00
Manutenção do sistema de tratamento de gás	m³/ano	0,0270	79.789	2.154,30
Manutenção do gasômetro	unid.	740,50	1	740,50
Manutenção do sistema de captação de biogás	unid.	324,75	1	324,75
Manutenção do sistema de transporte de biogás	unid.	1.577,69	1	1.577,69
Manutenção do sistema das instalações elétricas	unid.	1.283,21	1	1.283,21
Manutenção da medição de vazão de biogás	unid.	790,16	1	790,16
Manutenção da medição de composição de biogás	unid.	2.275,45	1	2.275,45
Manutenção do sistema de queima	unid.	216,30	1	216,30
Análises laboratoriais - óleo lubrificante	unid.	185,00	12	2.220,00
Custos gerais	unid.	37,60	20	752,00
Total				22.408,36

Fonte: Autora (2020).

Tabela 51: Custos com manutenção e reparo da ETE Rosa Elze recebendo mistura com 5% de lixiviado de aterro sanitário.

OPEX – ETE Rosa Elze – 5% lixiviado				
Item	Unidade	Custo unit. (R\$)	Qtd.	Custo total (R\$)
Manutenção e reparação de geração	h/ano	1,84	5.840	10.745,60
Manutenção do sistema de tratamento de gás	m³/ano	0,0270	85.374	2.305,08
Manutenção do gasômetro	unid.	807,82	1	807,82
Manutenção do sistema de captação de biogás	unid.	347,48	1	347,48
Manutenção do sistema de transporte de biogás	unid.	1.577,69	1	1.577,69
Manutenção do sistema das instalações elétricas	unid.	1.283,21	1	1.283,21
Manutenção da medição de vazão de biogás	unid.	790,16	1	790,16
Manutenção da medição de composição de biogás	unid.	2.275,45	1	2.275,45
Manutenção do sistema de queima	unid.	231,44	1	231,44
Análises laboratoriais - óleo lubrificante	unid.	185,00	12	2.220,00
Custos gerais	unid.	37,60	20	752,00
Total				23.335,93

Fonte: Autora (2020).

Percebe-se pouca diferença nos custos OPEX para as diferentes proporções de lixiviado de aterro sanitário adicionado ao esgoto sanitário, mas é necessário que esta diferença seja considerada, uma vez que os custos de manutenção e reparo são relacionados com o tamanho da estrutura e, para cada proporção, há uma produção estimada de biogás.

4.6 ANÁLISE ENERGÉTICA

Para a análise energética utilizaram-se informações dos motor-geradores, informações de consumo elétrico das estações, e informações de tarifas e impostos pagos pela DESO (MIRANDA, 2018).

As tarifas médias correspondentes a cada grupo tarifário foram calculadas de acordo com a Equação 6 e são apresentadas na Tabela 52.

Tabela 52: Tarifas de diferentes grupos tarifários envolvidos na análise.

Grupo tarifário	Tarifa em horário fora de ponta (R\$/kWh)	Tarifa em horário de ponta (R\$/kWh)	Tarifa média (R\$/kWh)
Baixa tensão	0,40093	1,09491	0,48485
Alta tensão – Horosazonal verde	0,24104	1,55875	0,37551

Fonte: ENERGISA (2020).

Além disso, determinou-se uma alíquota efetiva média de 4,782% de PIS/COFINS cobrados nas contas de energia elétrica da DESO, considerando os valores praticados no último ano.

Com essas informações, calculou-se então o custo médio do consumo de energia das ETEs e a economia mensal após o aproveitamento energético do biogás, em cada proporção de adição de lixiviado de aterro sanitário ao esgoto sanitário.

Pela Tabela 53, percebe-se que a ETE Rosa Elza produz quase 10 vezes mais energia do que consome, sendo seu saldo energético positivo. Miranda (2018) mostra, porém, que esta é a ETE onde o custo unitário da energia produzida é mais caro, uma vez que seu investimento de adequação é muito alto em relação à produção de biogás.

A ERQ Sul e ERQ Oeste produziriam até, aproximadamente, 65% da energia que elas precisam, obtendo economias mensais expressivas. Por outro lado, a ETE Barra é capaz de suprir apenas de 10% a 20% do seu consumo atual de energia, não trazendo economia mensal significativa.

Seguindo a Resolução 482 - ANEEL (2012), no sistema de compensação de energia elétrica, a energia produzida na unidade consumidora será injetada na rede de distribuição, sendo cedida, de forma gratuita à distribuidora local e posteriormente o consumo de energia ativa é compensado.

É importante também ressaltar que quanto menos energia comprada das concessionárias, menor influência das bandeiras tarifárias haverá no orçamento da companhia de saneamento, o que pode ser bastante significativo em épocas de estiagem do ano.

Tabela 53: Resumo da análise energética das ETEs para cada proporção de lixiviado de aterro sanitário adicionado ao esgoto sanitário.

	ERQ Sul	ERQ Oeste	ETE Barra	ETE Rosa Elze
Classe de faturamento de energia elétrica	HS Verde	HS Verde	BT	BT
Apenas esgoto sanitário				
Custo mensal médio	14.598,56	13.224,96	5.562,18	385,45
Economia mensal	6.939,36	5.204,52	872,73	3.200,00
0,5% lixiviado				
Custo mensal médio	14.598,56	13.224,96	5.562,18	385,45
Economia mensal	7.806,78	6.071,94	872,73	3.490,91
1% lixiviado				
Custo mensal médio	14.598,56	13.224,96	5.562,18	385,45
Economia mensal	7.806,78	6.071,94	872,73	3.490,91
2% lixiviado				
Custo mensal médio	14.598,56	13.224,96	5.562,18	385,45
Economia mensal	7.806,78	6.939,36	872,73	3.781,82
3% lixiviado				
Custo mensal médio	14.598,56	13.224,96	5.562,18	385,45
Economia mensal	8.674,20	8.674,20	872,73	4.072,73
4% lixiviado				
Custo mensal médio	14.598,56	13.224,96	5.562,18	385,45
Economia mensal	8.674,20	7.806,78	1.163,64	4.363,64
5% lixiviado				
Custo mensal médio	14.598,56	13.224,96	5.562,18	385,45
Economia mensal	9541,62	8674,20	1163,64	4654,55

Fonte: Autora (2020).

4.7 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Com os fluxos de caixa de cada ETE (apêndice), para cada condição de mistura de lixiviado de aterro sanitário e esgoto sanitário, determinou-se o VPL de cada situação e o tempo de retorno do investimento, através do *PayBack descontado*. Consideram-se para a análise dois cenários: o primeiro em que há a cobrança pelo tratamento do lixiviado, utilizando o valor médio atualmente pago pela empresa gestora do aterro sanitário de

Sergipe à central de tratamento de efluentes na Bahia, e o segundo, em que a DESO não cobraria por este tratamento.

O objetivo desta comparação é servir de apoio à negociação para que, futuramente, o lixiviado do aterro sanitário seja de fato tratado em alguma ETE da DESO.

As Tabelas 54 e 55 apresentam o resumo da análise de viabilidade econômica para cada uma das ETEs.

Considerando a geração de renda pela cobrança do tratamento do lixiviado de aterro sanitário, todas as estações apresentam viabilidade econômica para instalação do aproveitamento do biogás.

Os resultados mostram, porém, que o sistema de aproveitamento energético do biogás na ETE Barra não é viável sem a cobrança pelo tratamento do lixiviado, ou seja, somente a economia gerada pela produção de energia elétrica a partir do biogás não é suficiente para que a implantação do sistema se pague.

A ETE Rosa Elze se mostra viável em ambos cenários, desde que com proporções de lixiviado de aterro sanitário a partir 2%, mas ainda não sendo atrativa para adequação ao sistema de aproveitamento do biogás, visto que, com exceção da ETE Barra, é a estação com o menor VPL e maior *PayBack* descontado.

A instalação do sistema de aproveitamento energético do biogás tanto na ERQ Sul, como na ERQ Oeste se mostrou viável em todas as condições. Mesmo sem a cobrança pelo tratamento do lixiviado do aterro sanitário, apresentam *PayBack* descontado, com esgoto puro, de no máximo 15 e 21 anos, respectivamente. Com a cobrança pelo tratamento o *Payback* descontado passa a ser de apenas 4 meses, tornando-se um investimento atrativo, pois em pouco tempo é capaz de pagar os custos de investimento e manutenção, além de gerar lucro para a companhia de saneamento.

Tabela 54: Resumo da análise de viabilidade econômica na ERQ Sul e ERQ Oeste, com e sem a cobrança do tratamento do lixiviado de aterro sanitário.

	ERQ Sul		ERQ Oeste	
	CCTL	SCTL	CCTL	SCTL
Esgoto sanitário puro				
VPL	-	R\$ 602.018,00	-	R\$ 175.510,00
PayBack descontado	-	15 anos e 8 meses	-	21 anos e 2 meses
0,5% lixiviado				
VPL	R\$ 9.804.845,00	R\$ 831.237,00	R\$ 9.893.475,00	R\$ 405.426,00
PayBack descontado	2 anos e 5 meses	13 anos e 10 meses	2 anos e 3 meses	17 anos e 9 meses
1% lixiviado				
VPL	R\$ 18.749.466,00	R\$ 802.249,00	R\$ 19.355.418,00	R\$ 379.320,00
PayBack descontado	1 ano e 4 meses	14 anos e 2 meses	1 ano e 3 meses	18 anos e 2 meses
2% lixiviado				
VPL	R\$ 36.725.787,00	R\$ 831.353,00	R\$ 38.529.446,00	R\$ 577.250,00
PayBack descontado	9 meses	13 anos e 10 meses	9 meses	16 anos
3% lixiviado				
VPL	R\$ 54.961.785,00	R\$ 1.120.134,00	R\$ 58.025.204,00	R\$ 1.096.909,00
PayBack descontado	6 meses	12 anos e 2 meses	6 meses	12 anos e 4 meses
4% lixiviado				
VPL	R\$ 72.809.170,00	R\$ 1.020.302,00	R\$ 76.708.247,00	R\$ 803.854,00
PayBack descontado	5 meses	12 anos e 8 meses	5 meses	14 anos e 1 meses
5% lixiviado				
VPL	R\$ 90.961.300,00	R\$ 1.225.215,00	R\$ 95.882.159,00	R\$ 1.001.668,00
PayBack descontado	4 meses	11 anos e 10 meses	4 meses	12 anos e 11 meses

CCTL: com cobrança pelo tratamento do lixiviado (R\$30,00/m³)

SCTL: sem cobrança pelo tratamento do lixiviado

Fonte: Autora (2020).

Tabela 55: Resumo da análise de viabilidade econômica na ETE Barra e ETE Rosa Elze, com e sem a cobrança do tratamento do lixiviado de aterro sanitário.

	ETE Barra		ETE Rosa Elze	
	CCTL	SCTL	CCTL	SCTL
Esgoto sanitário puro				
VPL	-	R\$ - 626,579	-	R\$ - 212.624
PayBack descontado	-	-	-	-
0,5% lixiviado				
VPL	R\$ 254.642	R\$ - 630.565	R\$ 2.327.382	R\$ - 49.715
PayBack descontado	18 anos	-	5 anos e 11 meses	-
1% lixiviado				
VPL	R\$ 1.138.339	R\$ - 632.075	R\$ 4.708.696	R\$ - 45.497
PayBack descontado	9 anos e 2 meses	-	3 anos e 4 meses	-
2% lixiviado				
VPL	R\$ 2.910.494	R\$ - 630.332	R\$ 9.525.396	R\$ 17.001
PayBack descontado	4 anos e 7 meses	-	2 anos e 10 meses	24 anos e 6 meses
3% lixiviado				
VPL	R\$ 4.680.168	R\$ - 631.072	R\$ 14.360.697	R\$ 98.119
PayBack descontado	3 anos e 9 meses	-	1 ano e 3 meses	22 anos e 1 mês
4% lixiviado				
VPL	R\$ 6.517.640	R\$ - 564.013	R\$ 19.162.761	R\$ 145.991
PayBack descontado	2 anos e 4 meses	-	1 ano	20 anos e 11 meses
5% lixiviado				
VPL	R\$ 8.287.066	R\$ - 565.000	R\$ 23.979.694	R\$ 208.732
PayBack descontado	1 ano e 10 meses	-	10 meses	19 anos e 7 meses

CCTL: com cobrança pelo tratamento do lixiviado (R\$30,00/m³)

SCTL: sem cobrança pelo tratamento do lixiviado

Fonte: Autora (2020).

Percebe-se que, para tratar o montante de 200 m³/dia de lixiviado, é necessária a adequação de apenas uma das estações, ERQ Sul ou ERQ Oeste, uma vez que ambas possuem grandes vazões de chegada de esgoto, de 6060,08 m³/dia e 6307,49 m³/dia, respectivamente, e tratariam em proporções médias, 3,3% e 3,1% de lixiviado, respectivamente.

A ERQ Oeste se mostra economicamente mais atrativa para essa adequação, uma vez que tem VPL maior, porém sua localização geográfica pode ser um impeditivo, uma vez a estação está cercada de construções verticais, dificultando uma expansão da estação. A ERQ Sul tem mais espaços livres no entorno da estação, o que pode ser um diferencial em um projeto de viabilidade técnica para implantação do sistema.

É importante destacar que esta é uma análise teórica do tratamento, baseada somente na remoção de DQO. Caso a companhia de saneamento opte por realizar o cotratamento do lixiviado do aterro sanitário em suas ETEs, são necessárias análises complementares em termos de remoção dos demais nutrientes e tóxicos, garantindo um efluente final que atenda às exigências para lançamento no corpo hídrico receptor.

CONCLUSÃO

Pela estimativa de produção, constata-se que somente a partir de 3% de lixiviado adicionado, todas as estações passam a apresentar teor de metano do biogás igual ou maior que 60%, o que mostra que para proporções mais baixas, como observado na ERQ Oeste, o potencial energético é pouco vantajoso. A ERQ Sul e a ETE Barra apresentam o teor de metano superior a 60% a partir de 2% de lixiviado adicionada, que significa que a energia produzida nas ETEs não é suficiente para suprir suas próprias demandas, ou seja, a alternativa com melhor custo-benefício é a injeção da energia à rede da distribuidora de energia, com posterior compensação nas faturas de energia elétrica.

Para geração de energia, optou-se pelo motor-gerador de ciclo Otto com potências de 120 kVA e 30 kVA, funcionado de forma contínua em determinadas horas do dia, de acordo com a produção de biogás de cada estação.

O estudo de viabilidade econômica mostrou que a eventual arrecadação pelo tratamento do lixiviado supera em muito o ganho econômico gerado pela redução nas contas de energia elétrica.

Com a instalação do sistema de aproveitamento do biogás e o cotratamento do lixiviado do aterro sanitário, a ERQ Sul teria uma redução no consumo de energia elétrica em até aproximadamente 60% do que é consumido atualmente. Somente com esta economia, o sistema teria um *Payback* descontado em 11 anos e 10 meses e VPL ao fim de 25 anos de R\$1.225.215,00. Considerando também, a receita gerada pelo recebimento do lixiviado, o *PayBack* descontado cairia para até 4 meses e um VPL de R\$ 90.961.300,00. Esta estação seria suficiente para receber todo o lixiviado produzido no aterro sanitário de Sergipe.

O aproveitamento do biogás na ERQ Oeste reduziria em até 65% do seu gasto com energia elétrica e isso geraria um VPL de R\$ 1.001.668,00 além de um *Payback* descontado de 12 anos e 11 meses. Acrescido o recebimento da taxa do tratamento do lixiviado do aterro sanitário, o *PayBack* descontado cairia para até 4 meses e o VPL aumentaria para de R\$ 95.882.159,00.

A ETE Barra é a única estação onde o aproveitamento do biogás, de forma exclusiva, não geraria um VPL positivo no prazo de 25 anos, ou seja, o sistema não se pagaria. O recebimento do lixiviado, entretanto, custearia o sistema, fornecendo um VPL de R\$ 8.287.066,00 em 1 ano e 10 meses. Esta estação também é a que menos reduz seu

gasto com energia elétrica, uma vez que o uso do biogás supriria no máximo 21% da sua necessidade.

A ETE Rosa Elze gasta menos energia elétrica do que todas as outras, provavelmente pela tecnologia utilizada no tratamento do esgoto. A energia produzida através do biogás supre sua demanda em 1132%. Apesar disso, somente com a economia com energia elétrica, o VPL é de apenas R\$ 208.732,00, atrelado a um *PayBack* descontado de 19 anos e 7 meses. Entretanto, a receita gerada pelo tratamento do lixiviado do aterro sanitário aumentaria o VPL para R\$ 23.979.694,00 e reduziria o *PayBack* descontado para 10 meses.

Conclui-se que o cotratamento do lixiviado de aterro sanitário nas ETEs pode significar um grande ganho econômico para empresa, além de tornar o sistema de aproveitamento energético do biogás mais viável, favorecendo também o meio ambiente.

Vale ressaltar que todos os autores falam que o cotratamento do lixiviado com o esgoto sanitário exige que outras etapas sejam adicionadas, para a remoção adequada da matéria orgânica, outros nutrientes e dos metais presentes. Sugere-se o estudo das etapas necessárias, análise da viabilidade e precificação para o tratamento combinado nas ETEs existentes.

REFERÊNCIAS

ANEEL, **Resolução nº 414, de 9 de setembro de 2010**. Estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada. Agência Nacional de Energia Elétrica, Brasília, 2010. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/documents/656877/14486448/bren2010414.pdf/3bd33297-26f9-4ddf-94c3-f01d76d6f14a?version=1.0>>. Acesso em: 18/09/2020.

ANEEL, **Resolução nº 482, de 17 de abril de 2012**. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Agência Nacional de Energia Elétrica, Brasília, 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 18/09/2020.

ANEEL, **ANEEL propõe revisão das bandeiras tarifárias**. Agência Nacional de Energia Elétrica, Brasília, 2017. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/aneel-propoe-revisao-das-bandeiras-tarifarias/656877#:~:text=A%20proposta%20C3%A9%20de%20bandeira,da%20bandeira%20tarif%C3%A1ria%20de%20novembro.>. Acesso em: 18/09/2020.

ABBAS, A. A.; JINGSONG, G.; PING, L. Z.; YA, P. Y.; AL-REKABI, W. S. Review on Landfill Leachate Treatments. **Journal of Applied Sciences Research**, v. 5 p. 534-545, 2009.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9.648: **Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário**. Rio de Janeiro, 1986.

BISCHOFBERGER, W.; DICHTL, N.; ROSENWINKEL, K.-H.; SEYFRIED, C. F.; BOHNKE, B. *Anaerobtechnik*. Berlin. Heidelberg: Springer-Verlag, 718 p., 2005.

BORTH, P. B.; GALVÃO, R. B.; ASSUNÇÃO, E. G.; KURODA, E. K.; FERNANDES f. In ROSS, B. Z. L.; POSSETTI, G. R. C.(Coord). **Tecnologias Potenciais para Saneamento**. 1a edição ed. Curitiba: Companhia de Saneamento do Paraná - Sanepar, 2018. v. vol.3

BRASIL. Tribunal de Contas da União – TCU. **Acórdão nº 2622 / 2013**. Brasília, 2013.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental - SNSA. Probiogás. ISBN 978-857-958-070-3. **Guia técnico de aproveitamento energético de biogás em estações de tratamento de esgoto**. Brasília, 2015a.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental - SNSA. Probiogás. ISBN 978-85-7958-061-1. **Viabilidade técnico-econômica de produção de energia elétrica em ETEs a partir do biogás**. Brasília, 2015b.

BRASIL. Banco Nacional do Desenvolvimento – BNDES. **Finem – Financiamento a Empreendimentos**. 2020. Disponível em: <<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/bndes-finem-saneamento-ambiental-recursos-hidricos>>. Acesso em: 13/10/2020.

BRENNAN, R. B.; CLIFFORD, E.; DEVROEDT, C.; MORRISON, L.; HEALY, M. G. Treatment of landfill leachate in municipal wastewater treatment plants and impacts on effluent ammonium concentrations. **Journal of Environmental Management**, v. 188, p. 64–72, mar. 2017.

- CABRAL, B. G. C.; PLATZER, C. J.; ROSENFELDT, S.; HOFFMANN, H.; CHERNICHARO, C.A.L. Caracterização do biogás gerado no tratamento de efluentes domésticos em reatores UASB no Brasil. **Anais do 28º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2015.
- CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios**. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. 380p.
- DEGANUTTI, D. R.; TAVARES, B. R.; PALHACI, D. M. DO C. J. P.; ROSSI, M. M.; SANTOS, C. Biodigestores Rurais: Modelo Indiano, Chinês e Batelada. **Anais do 4º Encontro de Energia no Meio Rural**, p. 5, 2002.
- DÖHLER, H.; HARTMANN, S; KEYMER, U; NIEBAUM, A; PATERSON, M; REINHOLD, G; STADELMANN, M.; WIRTH, B. Faustzahlen Biogas. 3. ed. Darmstadt: Kuratorium Für Technik Und Bauwesen **In: Der Landwirtschaft e.V. (KTBL)**, 2013.
- ENERGISA. **Tipos de Tarifa**. Disponível em: <<https://www.energisa.com.br/Paginas/informacoes/taxas-prazos-e-normas/tipos-tarifas.aspx>>. Acesso em: 29/10/2020
- FERNANDES, G.; MARIANI, L. O Alto Potencial de Produção e Uso Fará do Biogás a Próxima Fronteira da Energia Renovável no Brasil? **Caderno Opinião**. FGV, 2019. Acesso em: 31/08/2019.
- FNR - Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe e. V. **Guia Prático do Biogás – Geração e Utilização**. Leipzig, 2010.
- GANGHIS, D.; PESTANA, M. **Tratamento de Efluentes**. Centro Federal de Educação Tecnológica. CEFET/BA. Bahia, sd.
- GOOGLE. Google Earth Pro. Version 7.3. 2020. Aracaju-SE. Disponível em:<<https://www.google.com/earth/download/gep/agree.html>>. Acesso em: 19/10/2020.
- GOMES, L. P. (coord.). **Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras**. 1ª ed. Rio de Janeiro: ABES/Projeto PROSAB, 2009. v. 3
- GUERI, M. V. D.; SOUZA, S. N. M.; KUCZMAN, O. Parâmetros operacionais do processo de digestão anaerobia de resíduos alimentares: uma revisão. **BIOFIX Scientific Journal**. v. 3, n. 1, pp. 17-25, 2018.
- KJELDSSEN, P.; BARLAZ, M. A.; ROOKER, A. P.; BAUN, A.; LEDIN, A.; CHRISTENSEN, T. H. Present and Long-Term Composition of MSW Landfill Leachate: A Review. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 32, n. 4, p. 297–336, 2002.
- LESSA, A. C. V. **Caracterização do Chorume do Centro de Gerenciamento de Resíduos Sólidos de Sergipe**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Técnico em Saneamento Ambiental) - Instituto Federal de Sergipe, Aracaju, 2017.
- LOBATO, L. C. DA S. **Aproveitamento Energético de Biogás Gerado em Reatores UASB Tratando Esgoto Doméstico**. 2011. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

LOBATO, L. C. S.; CHERNICHARO, C. A. L.; SOUZA, C. L. Estimates of methane loss and energy recovery potential in anaerobic reactors treating domestic wastewater. **Water Science and Technology**, v. 66, n. 12, p. 2745–2753, 2012.

MAIA, L. M. H.; LIMA, A. DE J.; MENDONÇA, L. C.; MICHELAN, D. C. DE G. S. Avaliação do Tratamento do Lixiviado de Aterro Sanitário por Processo Físico-Químico. **Anais do 30º Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente**. São Paulo, 2019.

METCALF e EDDY. **Wastewater Engineering - Treatment and Reuse**. 4. ed. New York, McGraw-Hill Companies, 2003.

MIORIM, M. **Tratamento combinado de lixiviado de aterro sanitário e esgoto doméstico por processo anaeróbio em reator UASB**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2018.

MIRANDA, C. F. **Estudo de viabilidade técnica e econômica do aproveitamento energético de biogás em Sergipe**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2018.

NASCENTES, A. L.; NASCIMENTO, M. M. P. DO; BRASIL, F. DA C.; CAMPOS, J. C.; FERREIRA, J. A. Tratamento combinado de lixiviado de aterro sanitário e esgoto doméstico - Aspectos operacionais e microbiológicos. **Revista Eletrônica TECCEN**, v. 8, n. 1, p. 05–12, 2015. Disponível em <https://www.researchgate.net/publication/307803962_Tratamento_combinado_de_lixiviado_de_aterro_sanitario_e_esgoto_domestico_Aspectos_operacionais_e_microbiologicos>. Acesso em 25/06/2019.

OBLADEN, N. L.; OBLADEN, N. T. R.; BARROS, K. R. **Guia para Elaboração de Projetos de Aterros Sanitários para Resíduos Sólidos Urbanos**. 2009 Disponível em: <<https://www.crea-pr.org.br/ws/wp-content/uploads/2016/12/Publica%C3%A7%C3%B5es-Tem%C3%A1ticas-Guia-para-Elabora%C3%A7%C3%A3o-de-Projetos-de-Aterros-Sanit%C3%A1rios-para-Res%C3%ADuos-S%C3%B3lidos-Urbanos-Volume-II.pdf>>. Acesso em: 9/09/2020.

PECORA, V. **Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP – Estudo de Caso**. 2006. Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

RITTMANN, B. E.; McCARTY, P. L. **Biotecnología del medio ambiente: principios y aplicaciones**. Madrid: McGraw-Hill, 2001.

ROSA, A. P.; LOBATO, L. C. DA S.; BORGES, J. M.; MELO, G. C. B. DE; CHERNICHARO, C. A. DE L. Potencial energético e alternativas para o aproveitamento do biogás e lodo de reatores UASB: estudo de caso Estação de tratamento de efluentes Laboreaux (Itabira). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 2, p. 315–328, 2016.

ROSA, A. P.; NEVES, R. C.; CHERNICHARO, C. A. DE L. Aproveitamento Energético dos Subprodutos, Lodo e Biogás, a Partir do Tratamento Anaeróbio de Efluentes pelo Uso de Processos Termoquímicos. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 26, n. 01, p. 26–34, 2018.

SANTOS, A. F. DE M. S. **Tratamento Anaeróbio de Chorume em Conjunto com Esgoto Sanitário**. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.

- SANTOS JÚNIOR, E. G.; SOUZA, C. S. DE; SILVA, F. V. DA; MENESES, F. M. S. Caracterização do Lixiviado de Aterro Sanitário de Sergipe. Anais do 30º Congresso ABES. Natal, 2019
- SHEN, Y.; LINVILLE, J. L.; URGUN-DEMIRTAS, M.; MINTZ, M. M.; SNYDER, S. W. An overview of biogas production and utilization at full-scale wastewater treatment plants (WWTPs) in the United States: Challenges and opportunities towards energy-neutral WWTPs. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 50, p. 346–362, 2015.
- SEFAZ, Anexo I do Decreto nº 21.400 de 10 de dezembro de 2002, Secretaria do Estado da Fazenda de Sergipe. Aracaju, 2002. Disponível em: <http://legislacao.sefaz.se.gov.br/legisinternet.dll/Infobase3/05-anexo_VI.htm>. Acesso em: 27/10/2020.
- SILVA, A. C. DA. **Análise da Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos em Capitais do Nordeste Brasileiro: O caso de Aracaju/SE e João Pessoa/PB**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014.
- SILVA, C. Z. **Codigestão anaeróbia de lixiviado de aterro sanitário e glicerol**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2017.
- SOUSA, F. A influência da temperatura e do volume de efluentes nos sistemas de tratamento dos esgotos. **Revista DAE**. v. 44, n. 137, 2016.
- VALENTE, V. B. **Análise de Viabilidade Econômica e Escala Mínima de Uso do Biogás de Reatores Anaeróbios em Estações de Tratamento de Esgoto no Brasil**. 2015. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.
- VON SPERLING, M. **Wastewater characteristics, treatment and disposal**. v. 1. IWA Publishing. London, 2007.
- ZAHER, U.; CHEONG, D.; WU, B.; CHEN, S. **Producing energy and fertilizer from organic municipal solid waste**. Department of Biological Systems Engineering. Washington State University, Olympia, WA, 2007.
- ZIEMINSKI, K.; FRAC, M. Methane fermentation process as anaerobic digestion of biomass: Transformations, stages and microorganisms. **African Journal of Biotechnology**. v. 11, n. 18, p. 4127-4139, 2012.

APÊNDICE A – FLUXO DE CAIXA E VPL PARA ERQ SUL SCTL

a) Apenas esgoto sanitário

ERQ Sul						
Ano	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	Receitas (R\$)	Total (R\$)	Total Descontado (R\$)	Total Descontado Acumulado (R\$)
0	-926.931	0	0	-926.931	-926.931	-926.931
1		-28.616	86.603	57.987	56.149	-870.782
2		-29.761	90.067	60.307	56.544	-814.237
3		-30.951	93.670	62.719	56.942	-757.295
4		-32.189	97.417	65.228	57.343	-699.951
5		-33.477	101.313	67.837	57.747	-642.204
6		-34.816	105.366	70.550	58.153	-584.051
7		-36.208	109.581	73.372	58.563	-525.488
8		-37.657	113.964	76.307	58.975	-466.514
9		-39.163	118.522	79.359	59.390	-407.124
10		-40.730	123.263	82.534	59.808	-347.316
11		-42.359	128.194	85.835	60.229	-287.087
12		-44.053	133.322	89.268	60.653	-226.434
13		-45.815	138.655	92.839	61.080	-165.354
14		-47.648	144.201	96.553	61.510	-103.844
15		-49.554	149.969	100.415	61.943	-41.902
16		-51.536	155.967	104.431	62.379	20.477
17		-53.597	162.206	108.609	62.818	83.295
18		-55.741	168.694	112.953	63.260	146.555
19		-57.971	175.442	117.471	63.705	210.260
20		-60.290	182.460	122.170	64.154	274.413
21		-62.701	189.758	127.057	64.605	339.018
22		-65.209	197.349	132.139	65.060	404.078
23		-67.818	205.243	137.425	65.518	469.596
24		-70.531	213.452	142.922	65.979	535.575
25		-73.352	221.990	148.639	66.443	602.018
VPL (R\$)					602.018	

Fonte: Autora (2020).

b) 0,5% de lixiviado

ERQ Sul						
Ano	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	Receitas (R\$)	Total (R\$)	Total Descontado (R\$)	Total Descontado Acumulado (R\$)
0	-941.190	0	0	-941.190	-941.190	-941.190
1		-30.207	97.429	67.221	65.091	-876.099
2		-31.416	101.326	69.910	65.549	-810.550
3		-32.672	105.379	72.707	66.010	-744.540
4		-33.979	109.594	75.615	66.475	-678.065
5		-35.338	113.978	78.639	66.943	-611.122
6		-36.752	118.537	81.785	67.414	-543.708
7		-38.222	123.278	85.056	67.888	-475.820
8		-39.751	128.209	88.459	68.366	-407.454
9		-41.341	133.338	91.997	68.848	-338.606
10		-42.994	138.671	95.677	69.332	-269.274
11		-44.714	144.218	99.504	69.820	-199.454
12		-46.503	149.987	103.484	70.312	-129.142
13		-48.363	155.986	107.623	70.806	-58.336
14		-50.297	162.226	111.928	71.305	12.969
15		-52.309	168.715	116.405	71.807	84.776
16		-54.402	175.463	121.062	72.312	157.088
17		-56.578	182.482	125.904	72.821	229.909
18		-58.841	189.781	130.940	73.334	303.243
19		-61.195	197.372	136.178	73.850	377.093
20		-63.642	205.267	141.625	74.370	451.462
21		-66.188	213.478	147.290	74.893	526.355
22		-68.836	222.017	153.182	75.420	601.776
23		-71.589	230.898	159.309	75.951	677.727
24		-74.453	240.134	165.681	76.486	754.213
25		-77.431	249.739	172.309	77.024	831.237
VPL (R\$)					831.237	

Fonte: Autora (2020).

c) 1% de lixiviado

ERQ Sul						
Ano	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	Receitas (R\$)	Total (R\$)	Total Descontado (R\$)	Total Descontado Acumulado (R\$)
0	-955.740	0	0	-955.740	-955.740	-955.740
1		-30.755	97.429	66.674	64.561	-891.180
2		-31.985	101.326	69.341	65.015	-826.165
3		-33.264	105.379	72.114	65.473	-760.692
4		-34.595	109.594	74.999	65.933	-694.759
5		-35.979	113.978	77.999	66.398	-628.361
6		-37.418	118.537	81.119	66.865	-561.496
7		-38.915	123.278	84.364	67.336	-494.161
8		-40.471	128.209	87.738	67.809	-426.351
9		-42.090	133.338	91.248	68.287	-358.065
10		-43.774	138.671	94.897	68.767	-289.297
11		-45.525	144.218	98.693	69.251	-220.046
12		-47.346	149.987	102.641	69.739	-150.307
13		-49.240	155.986	106.747	70.230	-80.077
14		-51.209	162.226	111.017	70.724	-9.353
15		-53.258	168.715	115.457	71.222	61.869
16		-55.388	175.463	120.076	71.723	133.592
17		-57.603	182.482	124.879	72.228	205.820
18		-59.907	189.781	129.874	72.736	278.556
19		-62.304	197.372	135.069	73.248	351.804
20		-64.796	205.267	140.471	73.764	425.568
21		-67.388	213.478	146.090	74.283	499.851
22		-70.083	222.017	151.934	74.806	574.657
23		-72.887	230.898	158.011	75.332	649.990
24		-75.802	240.134	164.332	75.863	725.852
25		-78.834	249.739	170.905	76.397	802.249
VPL (R\$)					802.249	

Fonte: Autora (2020).

d) 2% de lixiviado

ERQ Sul						
Ano	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	Receitas (R\$)	Total (R\$)	Total Descontado (R\$)	Total Descontado Acumulado (R\$)
0	-941.142	0	0	-941.142	-941.142	-941.142
1		-30.205	97.429	67.224	65.093	-876.048
2		-31.413	101.326	69.913	65.551	-810.497
3		-32.669	105.379	72.709	66.013	-744.484
4		-33.976	109.594	75.618	66.477	-678.007
5		-35.335	113.978	78.642	66.945	-611.061
6		-36.749	118.537	81.788	67.417	-543.645
7		-38.219	123.278	85.060	67.891	-475.754
8		-39.747	128.209	88.462	68.369	-407.385
9		-41.337	133.338	92.000	68.850	-338.535
10		-42.991	138.671	95.680	69.335	-269.200
11		-44.710	144.218	99.508	69.823	-199.377
12		-46.499	149.987	103.488	70.314	-129.063
13		-48.359	155.986	107.627	70.809	-58.254
14		-50.293	162.226	111.933	71.308	13.054
15		-52.305	168.715	116.410	71.809	84.864
16		-54.397	175.463	121.066	72.315	157.178
17		-56.573	182.482	125.909	72.824	230.002
18		-58.836	189.781	130.945	73.336	303.339
19		-61.189	197.372	136.183	73.853	377.191
20		-63.637	205.267	141.630	74.372	451.564
21		-66.182	213.478	147.296	74.896	526.460
22		-68.830	222.017	153.187	75.423	601.883
23		-71.583	230.898	159.315	75.954	677.837
24		-74.446	240.134	165.688	76.489	754.326
25		-77.424	249.739	172.315	77.027	831.353
VPL (R\$)					831.353	

Fonte: Autora (2020).

e) 3% de lixiviado

ERQ Sul						
Ano	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	Receitas (R\$)	Total (R\$)	Total Descontado (R\$)	Total Descontado Acumulado (R\$)
0	-967.677	0	0	-967.677	-967.677	-967.677
1		-29.071	108.254	79.183	76.673	-891.004
2		-30.234	112.584	82.350	77.213	-813.791
3		-31.444	117.088	85.644	77.756	-736.035
4		-32.701	121.771	89.070	78.303	-657.732
5		-34.009	126.642	92.632	78.855	-578.877
6		-35.370	131.708	96.338	79.410	-499.467
7		-36.785	136.976	100.191	79.969	-419.499
8		-38.256	142.455	104.199	80.531	-338.968
9		-39.786	148.153	108.367	81.098	-257.869
10		-41.378	154.079	112.701	81.669	-176.200
11		-43.033	160.242	117.210	82.244	-93.956
12		-44.754	166.652	121.898	82.823	-11.134
13		-46.544	173.318	126.774	83.406	72.272
14		-48.406	180.251	131.845	83.993	156.265
15		-50.342	187.461	137.119	84.584	240.849
16		-52.356	194.959	142.603	85.179	326.028
17		-54.450	202.758	148.307	85.779	411.807
18		-56.628	210.868	154.240	86.383	498.190
19		-58.893	219.303	160.409	86.991	585.180
20		-61.249	228.075	166.826	87.603	672.783
21		-63.699	237.198	173.499	88.220	761.003
22		-66.247	246.686	180.439	88.840	849.843
23		-68.897	256.553	187.656	89.466	939.309
24		-71.653	266.815	195.162	90.096	1.029.405
25		-74.519	277.488	202.969	90.730	1.120.134
VPL (R\$)					1.120.134	

Fonte: Autora (2020).

f) 4% de lixiviado

ERQ Sul						
Ano	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	Receitas (R\$)	Total (R\$)	Total Descontado (R\$)	Total Descontado Acumulado (R\$)
0	-975.640	0	0	-975.640	-975.640	-975.640
1		-32.556	108.254	75.698	73.299	-902.341
2		-33.858	112.584	78.726	73.815	-828.526
3		-35.212	117.088	81.875	74.335	-754.191
4		-36.621	121.771	85.150	74.858	-679.333
5		-38.086	126.642	88.556	75.385	-603.949
6		-39.609	131.708	92.099	75.915	-528.033
7		-41.193	136.976	95.783	76.450	-451.584
8		-42.841	142.455	99.614	76.988	-374.596
9		-44.555	148.153	103.598	77.530	-297.066
10		-46.337	154.079	107.742	78.075	-218.991
11		-48.190	160.242	112.052	78.625	-140.366
12		-50.118	166.652	116.534	79.178	-61.187
13		-52.123	173.318	121.195	79.736	18.548
14		-54.208	180.251	126.043	80.297	98.845
15		-56.376	187.461	131.085	80.862	179.707
16		-58.631	194.959	136.328	81.431	261.139
17		-60.976	202.758	141.782	82.004	343.143
18		-63.415	210.868	147.453	82.582	425.725
19		-65.952	219.303	153.351	83.163	508.887
20		-68.590	228.075	159.485	83.748	592.636
21		-71.333	237.198	165.864	84.338	676.973
22		-74.187	246.686	172.499	84.931	761.905
23		-77.154	256.553	179.399	85.529	847.434
24		-80.240	266.815	186.575	86.131	933.565
25		-83.450	277.488	194.038	86.737	1.020.302
VPL (R\$)					1.020.302	

Fonte: Autora (2020).

g) 5% de lixiviado

ERQ Sul						
Ano	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	Receitas (R\$)	Total (R\$)	Total Descontado (R\$)	Total Descontado Acumulado (R\$)
0	-1.002.006	0	0	-1.002.006	-1.002.006	-1.002.006
1		-34.610	119.079	84.470	81.793	-920.213
2		-35.994	123.843	87.849	82.368	-837.845
3		-37.434	128.796	91.363	82.948	-754.896
4		-38.931	133.948	95.017	83.532	-671.364
5		-40.488	139.306	98.818	84.120	-587.244
6		-42.108	144.878	102.770	84.712	-502.532
7		-43.792	150.673	106.881	85.308	-417.224
8		-45.544	156.700	111.157	85.909	-331.315
9		-47.366	162.968	115.603	86.513	-244.802
10		-49.260	169.487	120.227	87.122	-157.680
11		-51.231	176.267	125.036	87.736	-69.944
12		-53.280	183.317	130.037	88.353	18.409
13		-55.411	190.650	135.239	88.975	107.384
14		-57.627	198.276	140.648	89.601	196.985
15		-59.933	206.207	146.274	90.232	287.217
16		-62.330	214.455	152.125	90.867	378.084
17		-64.823	223.033	158.210	91.507	469.591
18		-67.416	231.955	164.539	92.151	561.741
19		-70.113	241.233	171.120	92.799	654.541
20		-72.917	250.882	177.965	93.452	747.993
21		-75.834	260.918	185.084	94.110	842.104
22		-78.867	271.354	192.487	94.773	936.876
23		-82.022	282.209	200.187	95.440	1.032.316
24		-85.303	293.497	208.194	96.111	1.128.427
25		-88.715	305.237	216.522	96.788	1.225.215
VPL (R\$)					1.225.215	

Fonte: Autora (2020).

APÊNDICE B – FLUXO DE CAIXA E VPL PARA ERQ OESTE SCTL

a) Apenas esgoto sanitário

Fluxo de Caixa - ERQ Oeste						
Ano	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	Receitas (R\$)	Total (R\$)	Total Descontado (R\$)	Total Descontado Acumulado (R\$)
0	-883.396	0	0	-883.396	-883.396	-883.396
1		-24.792	64.952	40.160	38.887	-844.509
2		-25.784	67.550	41.767	39.161	-805.347
3		-26.815	70.253	43.437	39.437	-765.911
4		-27.888	73.063	45.175	39.714	-726.196
5		-29.003	75.985	46.982	39.994	-686.203
6		-30.164	79.025	48.861	40.275	-645.927
7		-31.370	82.186	50.815	40.559	-605.368
8		-32.625	85.473	52.848	40.844	-564.524
9		-33.930	88.892	54.962	41.132	-523.392
10		-35.287	92.448	57.160	41.421	-481.971
11		-36.699	96.145	59.447	41.713	-440.258
12		-38.166	99.991	61.825	42.006	-398.252
13		-39.693	103.991	64.298	42.302	-355.950
14		-41.281	108.151	66.870	42.600	-313.350
15		-42.932	112.477	69.544	42.900	-270.450
16		-44.649	116.976	72.326	43.202	-227.248
17		-46.435	121.655	75.219	43.506	-183.743
18		-48.293	126.521	78.228	43.812	-139.931
19		-50.224	131.582	81.357	44.120	-95.810
20		-52.233	136.845	84.611	44.431	-51.379
21		-54.323	142.319	87.996	44.744	-6.636
22		-56.496	148.011	91.516	45.059	38.423
23		-58.756	153.932	95.176	45.376	83.798
24		-61.106	160.089	98.983	45.695	129.493
25		-63.550	166.493	102.943	46.017	175.510
VPL (R\$)					175.510	

Fonte: Autora (2020).

b) 0,5% de lixiviado

Fluxo de Caixa - ERQ Oeste						
Ano	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	Receitas (R\$)	Total (R\$)	Total Descontado (R\$)	Total Descontado Acumulado (R\$)
0	-897.364	0	0	-897.364	-897.364	-897.364
1		-26.368	75.778	49.410	47.844	-849.520
2		-27.423	78.809	51.386	48.181	-801.340
3		-28.520	81.961	53.442	48.520	-752.820
4		-29.660	85.240	55.579	48.861	-703.959
5		-30.847	88.649	57.802	49.205	-654.754
6		-32.081	92.195	60.115	49.551	-605.202
7		-33.364	95.883	62.519	49.900	-555.302
8		-34.699	99.718	65.020	50.251	-505.051
9		-36.087	103.707	67.621	50.605	-454.446
10		-37.530	107.855	70.325	50.961	-403.484
11		-39.031	112.170	73.138	51.320	-352.164
12		-40.592	116.656	76.064	51.681	-300.483
13		-42.216	121.323	79.107	52.045	-248.438
14		-43.905	126.176	82.271	52.411	-196.027
15		-45.661	131.223	85.562	52.780	-143.247
16		-47.487	136.472	88.984	53.152	-90.095
17		-49.387	141.930	92.544	53.526	-36.569
18		-51.362	147.608	96.245	53.903	17.333
19		-53.417	153.512	100.095	54.282	71.615
20		-55.554	159.652	104.099	54.664	126.279
21		-57.776	166.038	108.263	55.049	181.328
22		-60.087	172.680	112.593	55.436	236.765
23		-62.490	179.587	117.097	55.826	292.591
24		-64.990	186.771	121.781	56.219	348.810
25		-67.589	194.242	126.652	56.615	405.426
VPL (R\$)					405.426	

Fonte: Autora (2020).

c) 1% de lixiviado

Fluxo de Caixa - ERQ Oeste						
Ano	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	Receitas (R\$)	Total (R\$)	Total Descontado (R\$)	Total Descontado Acumulado (R\$)
0	-910.222	0	0	-910.222	-910.222	-910.222
1		-26.870	75.778	48.907	47.357	-862.865
2		-27.945	78.809	50.864	47.691	-815.175
3		-29.063	81.961	52.898	48.026	-767.148
4		-30.226	85.240	55.014	48.364	-718.784
5		-31.435	88.649	57.215	48.705	-670.079
6		-32.692	92.195	59.503	49.048	-621.032
7		-34.000	95.883	61.883	49.393	-571.639
8		-35.360	99.718	64.359	49.740	-521.898
9		-36.774	103.707	66.933	50.091	-471.808
10		-38.245	107.855	69.610	50.443	-421.365
11		-39.775	112.170	72.395	50.798	-370.567
12		-41.366	116.656	75.291	51.156	-319.411
13		-43.020	121.323	78.302	51.516	-267.895
14		-44.741	126.176	81.434	51.878	-216.017
15		-46.531	131.223	84.692	52.244	-163.773
16		-48.392	136.472	88.079	52.611	-111.162
17		-50.328	141.930	91.603	52.982	-58.180
18		-52.341	147.608	95.267	53.354	-4.826
19		-54.435	153.512	99.077	53.730	48.904
20		-56.612	159.652	103.040	54.108	103.012
21		-58.877	166.038	107.162	54.489	157.501
22		-61.232	172.680	111.448	54.873	212.374
23		-63.681	179.587	115.906	55.259	267.633
24		-66.228	186.771	120.543	55.648	323.280
25		-68.877	194.242	125.364	56.039	379.320
VPL (R\$)					379.320	

Fonte: Autora (2020).

d) 2% de lixiviado

Fluxo de Caixa - ERQ Oeste						
Ano	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	Receitas (R\$)	Total (R\$)	Total Descontado (R\$)	Total Descontado Acumulado (R\$)
0	-940.481	0	0	-940.481	-940.481	-940.481
1		-29.042	86.603	57.562	55.737	-884.744
2		-30.203	90.067	59.864	56.130	-828.614
3		-31.411	93.670	62.259	56.525	-772.090
4		-32.668	97.417	64.749	56.923	-715.167
5		-33.975	101.313	67.339	57.323	-657.844
6		-35.334	105.366	70.033	57.727	-600.117
7		-36.747	109.581	72.834	58.133	-541.984
8		-38.217	113.964	75.747	58.542	-483.442
9		-39.745	118.522	78.777	58.954	-424.488
10		-41.335	123.263	81.928	59.369	-365.119
11		-42.989	128.194	85.205	59.787	-305.332
12		-44.708	133.322	88.613	60.208	-245.124
13		-46.496	138.655	92.158	60.632	-184.492
14		-48.356	144.201	95.844	61.058	-123.434
15		-50.291	149.969	99.678	61.488	-61.946
16		-52.302	155.967	103.665	61.921	-25
17		-54.394	162.206	107.812	62.357	62.332
18		-56.570	168.694	112.124	62.796	125.128
19		-58.833	175.442	116.609	63.238	188.366
20		-61.186	182.460	121.274	63.683	252.048
21		-63.634	189.758	126.125	64.131	316.180
22		-66.179	197.349	131.170	64.582	380.762
23		-68.826	205.243	136.416	65.037	445.799
24		-71.579	213.452	141.873	65.495	511.294
25		-74.442	221.990	147.548	65.956	577.250
VPL (R\$)					577.250	

Fonte: Autora (2020).

e) 3% de lixiviado

Fluxo de Caixa - ERQ Oeste						
Ano	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	Receitas (R\$)	Total (R\$)	Total Descontado (R\$)	Total Descontado Acumulado (R\$)
0	-971.808	0	0	-971.808	-971.808	-971.808
1		-29.796	108.254	78.458	75.972	-895.836
2		-30.987	112.584	81.597	76.506	-819.329
3		-32.227	117.088	84.861	77.045	-742.284
4		-33.516	121.771	88.255	77.587	-664.697
5		-34.857	126.642	91.785	78.133	-586.564
6		-36.251	131.708	95.457	78.683	-507.880
7		-37.701	136.976	99.275	79.237	-428.643
8		-39.209	142.455	103.246	79.795	-348.848
9		-40.777	148.153	107.376	80.357	-268.492
10		-42.408	154.079	111.671	80.922	-187.570
11		-44.105	160.242	116.138	81.492	-106.078
12		-45.869	166.652	120.783	82.065	-24.013
13		-47.704	173.318	125.614	82.643	58.630
14		-49.612	180.251	130.639	83.225	141.855
15		-51.596	187.461	135.865	83.810	225.665
16		-53.660	194.959	141.299	84.400	310.066
17		-55.807	202.758	146.951	84.994	395.060
18		-58.039	210.868	152.829	85.593	480.653
19		-60.360	219.303	158.942	86.195	566.848
20		-62.775	228.075	165.300	86.802	653.650
21		-65.286	237.198	171.912	87.413	741.062
22		-67.897	246.686	178.788	88.028	829.090
23		-70.613	256.553	185.940	88.648	917.738
24		-73.438	266.815	193.378	89.272	1.007.009
25		-76.375	277.488	201.113	89.900	1.096.909
VPL (R\$)					1.096.909	

Fonte: Autora (2020).

f) 4% de lixiviado

Fluxo de Caixa - ERQ Oeste						
Ano	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	Receitas (R\$)	Total (R\$)	Total Descontado (R\$)	Total Descontado Acumulado (R\$)
0	-955.832	0	0	-955.832	-955.832	-955.832
1		-30.691	97.429	66.738	64.623	-891.209
2		-31.918	101.326	69.408	65.078	-826.132
3		-33.195	105.379	72.184	65.536	-760.596
4		-34.523	109.594	75.071	65.997	-694.599
5		-35.904	113.978	78.074	66.462	-628.137
6		-37.340	118.537	81.197	66.929	-561.208
7		-38.833	123.278	84.445	67.401	-493.807
8		-40.387	128.209	87.823	67.875	-425.932
9		-42.002	133.338	91.336	68.353	-357.580
10		-43.682	138.671	94.989	68.834	-288.746
11		-45.429	144.218	98.789	69.318	-219.428
12		-47.247	149.987	102.740	69.806	-149.621
13		-49.137	155.986	106.850	70.298	-79.324
14		-51.102	162.226	111.124	70.792	-8.532
15		-53.146	168.715	115.569	71.291	62.759
16		-55.272	175.463	120.192	71.792	134.551
17		-57.483	182.482	124.999	72.298	206.849
18		-59.782	189.781	129.999	72.807	279.656
19		-62.173	197.372	135.199	73.319	352.975
20		-64.660	205.267	140.607	73.835	426.810
21		-67.247	213.478	146.231	74.355	501.165
22		-69.937	222.017	152.081	74.878	576.043
23		-72.734	230.898	158.164	75.405	651.448
24		-75.643	240.134	164.490	75.936	727.384
25		-78.669	249.739	171.070	76.470	803.854
VPL (R\$)					803.854	

Fonte: Autora (2020).

g) 5% de lixiviado

Fluxo de Caixa - ERQ Oeste						
Ano	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	Receitas (R\$)	Total (R\$)	Total Descontado (R\$)	Total Descontado Acumulado (R\$)
0	-986.140	0	0	-986.140	-986.140	-986.140
1		-32.864	108.254	75.390	73.000	-913.139
2		-34.179	112.584	78.405	73.514	-839.625
3		-35.546	117.088	81.542	74.032	-765.593
4		-36.968	121.771	84.803	74.553	-691.040
5		-38.446	126.642	88.195	75.078	-615.963
6		-39.984	131.708	91.723	75.606	-540.357
7		-41.584	136.976	95.392	76.138	-464.219
8		-43.247	142.455	99.208	76.674	-387.545
9		-44.977	148.153	103.176	77.214	-310.331
10		-46.776	154.079	107.303	77.757	-232.574
11		-48.647	160.242	111.595	78.304	-154.269
12		-50.593	166.652	116.059	78.856	-75.414
13		-52.617	173.318	120.702	79.411	3.997
14		-54.721	180.251	125.530	79.970	83.967
15		-56.910	187.461	130.551	80.533	164.499
16		-59.187	194.959	135.773	81.099	245.598
17		-61.554	202.758	141.204	81.670	327.269
18		-64.016	210.868	146.852	82.245	409.514
19		-66.577	219.303	152.726	82.824	492.338
20		-69.240	228.075	158.835	83.407	575.744
21		-72.009	237.198	165.188	83.994	659.738
22		-74.890	246.686	171.796	84.585	744.324
23		-77.885	256.553	178.668	85.181	829.504
24		-81.001	266.815	185.814	85.780	915.284
25		-84.241	277.488	193.247	86.384	1.001.668
VPL (R\$)					1.001.668	

Fonte: Autora (2020).

APÊNDICE C – FLUXO DE CAIXA E VPL ETE BARRA SCTL

a) Apenas esgoto sanitário

ETE Barra						
Ano	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	Receitas (R\$)	Total (R\$)	Total Descontado (R\$)	Total Descontado Acumulado (R\$)
0	-594.299	0	0	-594.299	-594.299	-594.299
1		-12.116	10.892	-1.224	-1.185	-595.485
2		-12.601	11.327	-1.273	-1.194	-596.678
3		-13.105	11.780	-1.324	-1.202	-597.881
4		-13.629	12.252	-1.377	-1.211	-599.091
5		-14.174	12.742	-1.432	-1.219	-600.311
6		-14.741	13.251	-1.489	-1.228	-601.538
7		-15.330	13.781	-1.549	-1.236	-602.775
8		-15.944	14.333	-1.611	-1.245	-604.020
9		-16.581	14.906	-1.675	-1.254	-605.274
10		-17.245	15.502	-1.742	-1.263	-606.536
11		-17.934	16.122	-1.812	-1.272	-607.808
12		-18.652	16.767	-1.885	-1.281	-609.088
13		-19.398	17.438	-1.960	-1.290	-610.378
14		-20.174	18.135	-2.038	-1.299	-611.677
15		-20.981	18.861	-2.120	-1.308	-612.984
16		-21.820	19.615	-2.205	-1.317	-614.301
17		-22.693	20.400	-2.293	-1.326	-615.628
18		-23.601	21.216	-2.385	-1.336	-616.963
19		-24.545	22.064	-2.480	-1.345	-618.308
20		-25.526	22.947	-2.579	-1.354	-619.663
21		-26.547	23.865	-2.682	-1.364	-621.027
22		-27.609	24.820	-2.790	-1.374	-622.400
23		-28.714	25.812	-2.901	-1.383	-623.783
24		-29.862	26.845	-3.017	-1.393	-625.176
25		-31.057	27.919	-3.138	-1.403	-626.579
VPL (R\$)					-626.579	

Fonte: Autora (2020).

b) 0,5% de lixiviado

ETE Barra						
Ano	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	Receitas (R\$)	Total (R\$)	Total Descontado (R\$)	Total Descontado Acumulado (R\$)
0	-596.452	0	0	-596.452	-596.452	-596.452
1		-12.185	10.892	-1.294	-1.253	-597.705
2		-12.673	11.327	-1.346	-1.262	-598.966
3		-13.180	11.780	-1.399	-1.270	-600.237
4		-13.707	12.252	-1.455	-1.279	-601.516
5		-14.255	12.742	-1.514	-1.288	-602.805
6		-14.825	13.251	-1.574	-1.297	-604.102
7		-15.418	13.781	-1.637	-1.307	-605.409
8		-16.035	14.333	-1.702	-1.316	-606.725
9		-16.677	14.906	-1.771	-1.325	-608.050
10		-17.344	15.502	-1.841	-1.334	-609.384
11		-18.037	16.122	-1.915	-1.344	-610.728
12		-18.759	16.767	-1.992	-1.353	-612.081
13		-19.509	17.438	-2.071	-1.363	-613.444
14		-20.290	18.135	-2.154	-1.372	-614.816
15		-21.101	18.861	-2.240	-1.382	-616.198
16		-21.945	19.615	-2.330	-1.392	-617.590
17		-22.823	20.400	-2.423	-1.402	-618.991
18		-23.736	21.216	-2.520	-1.411	-620.403
19		-24.685	22.064	-2.621	-1.421	-621.824
20		-25.673	22.947	-2.726	-1.431	-623.255
21		-26.700	23.865	-2.835	-1.441	-624.697
22		-27.768	24.820	-2.948	-1.452	-626.148
23		-28.878	25.812	-3.066	-1.462	-627.610
24		-30.034	26.845	-3.189	-1.472	-629.082
25		-31.235	27.919	-3.316	-1.482	-630.565
VPL (R\$)					-630.565	

Fonte: Autora (2020).

c) 1% de lixiviado

ETE Barra						
Ano	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	Receitas (R\$)	Total (R\$)	Total Descontado (R\$)	Total Descontado Acumulado (R\$)
0	-597.083	0	0	-597.083	-597.083	-597.083
1		-12.219	10.892	-1.327	-1.285	-598.368
2		-12.707	11.327	-1.380	-1.294	-599.662
3		-13.216	11.780	-1.435	-1.303	-600.965
4		-13.744	12.252	-1.493	-1.312	-602.278
5		-14.294	12.742	-1.553	-1.322	-603.599
6		-14.866	13.251	-1.615	-1.331	-604.930
7		-15.461	13.781	-1.679	-1.340	-606.271
8		-16.079	14.333	-1.746	-1.350	-607.620
9		-16.722	14.906	-1.816	-1.359	-608.979
10		-17.391	15.502	-1.889	-1.369	-610.348
11		-18.087	16.122	-1.964	-1.378	-611.727
12		-18.810	16.767	-2.043	-1.388	-613.115
13		-19.563	17.438	-2.125	-1.398	-614.513
14		-20.345	18.135	-2.210	-1.408	-615.920
15		-21.159	18.861	-2.298	-1.418	-617.338
16		-22.005	19.615	-2.390	-1.428	-618.766
17		-22.885	20.400	-2.486	-1.438	-620.203
18		-23.801	21.216	-2.585	-1.448	-621.651
19		-24.753	22.064	-2.688	-1.458	-623.109
20		-25.743	22.947	-2.796	-1.468	-624.577
21		-26.773	23.865	-2.908	-1.479	-626.056
22		-27.844	24.820	-3.024	-1.489	-627.545
23		-28.957	25.812	-3.145	-1.499	-629.044
24		-30.116	26.845	-3.271	-1.510	-630.554
25		-31.320	27.919	-3.402	-1.521	-632.075
VPL (R\$)					-632.075	

Fonte: Autora (2020).

d) 2% de lixiviado

ETE Barra						
Ano	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	Receitas (R\$)	Total (R\$)	Total Descontado (R\$)	Total Descontado Acumulado (R\$)
0	-596.355	0	0	-596.355	-596.355	-596.355
1		-12.180	10.892	-1.289	-1.248	-597.603
2		-12.667	11.327	-1.340	-1.257	-598.859
3		-13.174	11.780	-1.394	-1.265	-600.125
4		-13.701	12.252	-1.450	-1.274	-601.399
5		-14.249	12.742	-1.508	-1.283	-602.682
6		-14.819	13.251	-1.568	-1.292	-603.975
7		-15.412	13.781	-1.631	-1.301	-605.276
8		-16.028	14.333	-1.696	-1.311	-606.587
9		-16.670	14.906	-1.764	-1.320	-607.907
10		-17.336	15.502	-1.834	-1.329	-609.236
11		-18.030	16.122	-1.907	-1.338	-610.574
12		-18.751	16.767	-1.984	-1.348	-611.922
13		-19.501	17.438	-2.063	-1.357	-613.279
14		-20.281	18.135	-2.146	-1.367	-614.646
15		-21.092	18.861	-2.231	-1.377	-616.023
16		-21.936	19.615	-2.321	-1.386	-617.409
17		-22.813	20.400	-2.414	-1.396	-618.805
18		-23.726	21.216	-2.510	-1.406	-620.211
19		-24.675	22.064	-2.611	-1.416	-621.626
20		-25.662	22.947	-2.715	-1.426	-623.052
21		-26.688	23.865	-2.824	-1.436	-624.488
22		-27.756	24.820	-2.936	-1.446	-625.934
23		-28.866	25.812	-3.054	-1.456	-627.390
24		-30.021	26.845	-3.176	-1.466	-628.856
25		-31.222	27.919	-3.303	-1.477	-630.332
VPL (R\$)					-630.332	

Fonte: Autora (2020).

e) 3% de lixiviado

ETE Barra						
Ano	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	Receitas (R\$)	Total (R\$)	Total Descontado (R\$)	Total Descontado Acumulado (R\$)
0	-599.139	0	0	-599.139	-599.139	-599.139
1		-12.103	10.892	-1.211	-1.173	-600.312
2		-12.587	11.327	-1.260	-1.181	-601.493
3		-13.090	11.780	-1.310	-1.189	-602.682
4		-13.614	12.252	-1.362	-1.198	-603.880
5		-14.158	12.742	-1.417	-1.206	-605.086
6		-14.725	13.251	-1.473	-1.215	-606.300
7		-15.314	13.781	-1.532	-1.223	-607.523
8		-15.926	14.333	-1.594	-1.232	-608.755
9		-16.563	14.906	-1.657	-1.240	-609.995
10		-17.226	15.502	-1.724	-1.249	-611.244
11		-17.915	16.122	-1.793	-1.258	-612.502
12		-18.632	16.767	-1.864	-1.267	-613.769
13		-19.377	17.438	-1.939	-1.276	-615.045
14		-20.152	18.135	-2.017	-1.285	-616.329
15		-20.958	18.861	-2.097	-1.294	-617.623
16		-21.796	19.615	-2.181	-1.303	-618.926
17		-22.668	20.400	-2.268	-1.312	-620.238
18		-23.575	21.216	-2.359	-1.321	-621.559
19		-24.518	22.064	-2.453	-1.331	-622.890
20		-25.499	22.947	-2.552	-1.340	-624.229
21		-26.519	23.865	-2.654	-1.349	-625.579
22		-27.579	24.820	-2.760	-1.359	-626.938
23		-28.682	25.812	-2.870	-1.368	-628.306
24		-29.830	26.845	-2.985	-1.378	-629.684
25		-31.023	27.919	-3.104	-1.388	-631.072
VPL (R\$)					-631.072	

Fonte: Autora (2020).

f) 4% de lixiviado

ETE Barra						
Ano	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	Receitas (R\$)	Total (R\$)	Total Descontado (R\$)	Total Descontado Acumulado (R\$)
0	-601.923	0	0	-601.923	-601.923	-601.923
1		-13.084	14.522	1.438	1.392	-600.531
2		-13.608	15.103	1.495	1.402	-599.129
3		-14.152	15.707	1.555	1.412	-597.717
4		-14.718	16.335	1.617	1.422	-596.295
5		-15.307	16.989	1.682	1.432	-594.863
6		-15.919	17.668	1.749	1.442	-593.421
7		-16.556	18.375	1.819	1.452	-591.969
8		-17.218	19.110	1.892	1.462	-590.507
9		-17.907	19.875	1.968	1.473	-589.034
10		-18.623	20.670	2.046	1.483	-587.551
11		-19.368	21.496	2.128	1.493	-586.058
12		-20.143	22.356	2.213	1.504	-584.554
13		-20.949	23.250	2.302	1.514	-583.040
14		-21.787	24.181	2.394	1.525	-581.515
15		-22.658	25.148	2.490	1.536	-579.979
16		-23.564	26.154	2.589	1.547	-578.432
17		-24.507	27.200	2.693	1.558	-576.875
18		-25.487	28.288	2.801	1.569	-575.306
19		-26.507	29.419	2.913	1.580	-573.726
20		-27.567	30.596	3.029	1.591	-572.136
21		-28.670	31.820	3.150	1.602	-570.534
22		-29.816	33.093	3.276	1.613	-568.921
23		-31.009	34.416	3.407	1.624	-567.296
24		-32.249	35.793	3.544	1.636	-565.660
25		-33.539	37.225	3.685	1.647	-564.013
VPL (R\$)					-564.013	

Fonte: Autora (2020).

g) 5% de lixiviado

ETE Barra						
Ano	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	Receitas (R\$)	Total (R\$)	Total Descontado (R\$)	Total Descontado Acumulado (R\$)
0	-602.335	0	0	-602.335	-602.335	-602.335
1		-13.106	14.522	1.416	1.371	-600.964
2		-13.630	15.103	1.473	1.381	-599.584
3		-14.176	15.707	1.532	1.390	-598.193
4		-14.743	16.335	1.593	1.400	-596.793
5		-15.332	16.989	1.656	1.410	-595.383
6		-15.946	17.668	1.723	1.420	-593.963
7		-16.584	18.375	1.792	1.430	-592.533
8		-17.247	19.110	1.863	1.440	-591.093
9		-17.937	19.875	1.938	1.450	-589.642
10		-18.654	20.670	2.015	1.460	-588.182
11		-19.400	21.496	2.096	1.471	-586.711
12		-20.176	22.356	2.180	1.481	-585.230
13		-20.983	23.250	2.267	1.491	-583.739
14		-21.823	24.181	2.358	1.502	-582.237
15		-22.696	25.148	2.452	1.513	-580.724
16		-23.604	26.154	2.550	1.523	-579.201
17		-24.548	27.200	2.652	1.534	-577.667
18		-25.530	28.288	2.758	1.545	-576.122
19		-26.551	29.419	2.869	1.556	-574.567
20		-27.613	30.596	2.983	1.567	-573.000
21		-28.717	31.820	3.103	1.578	-571.422
22		-29.866	33.093	3.227	1.589	-569.834
23		-31.061	34.416	3.356	1.600	-568.234
24		-32.303	35.793	3.490	1.611	-566.623
25		-33.595	37.225	3.630	1.622	-565.000
VPL (R\$)					-565.000	

Fonte: Autora (2020).

APÊNDICE D – FLUXO DE CAIXA E VPL ETE ROSA ELZE SCTL

a) Apenas esgoto sanitário

ETE Rosa Elze						
Ano	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	Receitas (R\$)	Total (R\$)	Total Descontado (R\$)	Total Descontado Acumulado (R\$)
0	-654.176	0	0	-654.176	-654.176	-654.176
1		-23.190	39.936	16.746	16.216	-637.961
2		-24.117	41.533	17.416	16.330	-621.631
3		-25.082	43.195	18.113	16.445	-605.186
4		-26.085	44.923	18.837	16.560	-588.626
5		-27.129	46.719	19.591	16.677	-571.949
6		-28.214	48.588	20.374	16.794	-555.155
7		-29.342	50.532	21.189	16.913	-538.242
8		-30.516	52.553	22.037	17.032	-521.210
9		-31.737	54.655	22.919	17.151	-504.059
10		-33.006	56.841	23.835	17.272	-486.787
11		-34.326	59.115	24.789	17.394	-469.393
12		-35.699	61.480	25.780	17.516	-451.877
13		-37.127	63.939	26.811	17.640	-434.237
14		-38.612	66.496	27.884	17.764	-416.473
15		-40.157	69.156	28.999	17.889	-398.585
16		-41.763	71.922	30.159	18.015	-380.570
17		-43.434	74.799	31.366	18.141	-362.429
18		-45.171	77.791	32.620	18.269	-344.160
19		-46.978	80.903	33.925	18.398	-325.762
20		-48.857	84.139	35.282	18.527	-307.235
21		-50.811	87.505	36.693	18.658	-288.577
22		-52.844	91.005	38.161	18.789	-269.788
23		-54.958	94.645	39.687	18.921	-250.867
24		-57.156	98.431	41.275	19.054	-231.813
25		-59.442	102.368	42.926	19.188	-212.624
VPL					-212.624	

Fonte: Autora (2020).

b) 0,5% de lixiviado

ETE Rosa Elze						
Ano	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	Receitas (R\$)	Total (R\$)	Total Descontado (R\$)	Total Descontado Acumulado (R\$)
0	-657.373	0	0	-657.373	-657.373	-657.373
1		-20.520	43.567	23.046	22.316	-635.057
2		-21.341	45.309	23.968	22.473	-612.584
3		-22.195	47.122	24.927	22.631	-589.953
4		-23.083	49.006	25.924	22.790	-567.163
5		-24.006	50.967	26.961	22.951	-544.212
6		-24.966	53.005	28.039	23.112	-521.100
7		-25.965	55.126	29.161	23.275	-497.825
8		-27.004	57.331	30.327	23.439	-474.387
9		-28.084	59.624	31.540	23.604	-450.783
10		-29.207	62.009	32.802	23.770	-427.013
11		-30.375	64.489	34.114	23.937	-403.076
12		-31.590	67.069	35.478	24.106	-378.971
13		-32.854	69.751	36.898	24.275	-354.695
14		-34.168	72.542	38.373	24.446	-330.249
15		-35.535	75.443	39.908	24.618	-305.631
16		-36.956	78.461	41.505	24.791	-280.839
17		-38.434	81.599	43.165	24.966	-255.873
18		-39.972	84.863	44.892	25.142	-230.732
19		-41.571	88.258	46.687	25.319	-205.413
20		-43.233	91.788	48.555	25.497	-179.916
21		-44.963	95.460	50.497	25.676	-154.240
22		-46.761	99.278	52.517	25.857	-128.383
23		-48.632	103.249	54.617	26.039	-102.344
24		-50.577	107.379	56.802	26.222	-76.121
25		-52.600	111.674	59.074	26.407	-49.715
26		-54.704	116.141	61.437	26.593	-23.122
VPL					-49.715	

Fonte: Autora (2020).

c) 1% de lixiviado

ETE Rosa Elze						
Ano	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	Receitas (R\$)	Total (R\$)	Total Descontado (R\$)	Total Descontado Acumulado (R\$)
0	-655.123	0	0	-655.123	-655.123	-655.123
1		-20.446	43.567	23.121	22.388	-632.735
2		-21.264	45.309	24.046	22.546	-610.189
3		-22.114	47.122	25.007	22.704	-587.485
4		-22.999	49.006	26.008	22.864	-564.621
5		-23.919	50.967	27.048	23.025	-541.596
6		-24.875	53.005	28.130	23.187	-518.409
7		-25.870	55.126	29.255	23.350	-495.059
8		-26.905	57.331	30.425	23.515	-471.544
9		-27.982	59.624	31.642	23.680	-447.864
10		-29.101	62.009	32.908	23.847	-424.017
11		-30.265	64.489	34.224	24.015	-400.003
12		-31.475	67.069	35.593	24.184	-375.819
13		-32.734	69.751	37.017	24.354	-351.465
14		-34.044	72.542	38.498	24.525	-326.940
15		-35.406	75.443	40.038	24.698	-302.242
16		-36.822	78.461	41.639	24.872	-277.370
17		-38.295	81.599	43.305	25.047	-252.323
18		-39.826	84.863	45.037	25.223	-227.100
19		-41.419	88.258	46.838	25.401	-201.700
20		-43.076	91.788	48.712	25.579	-176.120
21		-44.799	95.460	50.660	25.759	-150.361
22		-46.591	99.278	52.687	25.941	-124.420
23		-48.455	103.249	54.794	26.123	-98.296
24		-50.393	107.379	56.986	26.307	-71.989
25		-52.409	111.674	59.266	26.492	-45.497
VPL					-45.497	

Fonte: Autora (2020).

d) 2% de lixiviado

ETE Rosa Elze						
Ano	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	Receitas (R\$)	Total (R\$)	Total Descontado (R\$)	Total Descontado Acumulado (R\$)
0	-662.771	0	0	-662.771	-662.771	-662.771
1		-21.416	47.197	25.781	24.964	-637.806
2		-22.272	49.085	26.813	25.140	-612.666
3		-23.163	51.048	27.885	25.317	-587.349
4		-24.090	53.090	29.001	25.495	-561.854
5		-25.053	55.214	30.161	25.675	-536.179
6		-26.055	57.422	31.367	25.855	-510.324
7		-27.098	59.719	32.622	26.037	-484.286
8		-28.181	62.108	33.927	26.221	-458.066
9		-29.309	64.592	35.284	26.405	-431.661
10		-30.481	67.176	36.695	26.591	-405.069
11		-31.700	69.863	38.163	26.778	-378.291
12		-32.968	72.658	39.689	26.967	-351.324
13		-34.287	75.564	41.277	27.157	-324.168
14		-35.659	78.587	42.928	27.348	-296.820
15		-37.085	81.730	44.645	27.540	-269.280
16		-38.568	84.999	46.431	27.734	-241.546
17		-40.111	88.399	48.288	27.929	-213.617
18		-41.715	91.935	50.220	28.126	-185.491
19		-43.384	95.613	52.229	28.324	-157.167
20		-45.119	99.437	54.318	28.523	-128.644
21		-46.924	103.415	56.490	28.724	-99.920
22		-48.801	107.551	58.750	28.926	-70.994
23		-50.753	111.853	61.100	29.130	-41.865
24		-52.783	116.327	63.544	29.335	-12.530
25		-54.895	120.981	66.086	29.541	17.011
VPL					17.011	

Fonte: Autora (2020).

e) 3% de lixiviado

ETE Rosa Elze						
Ano	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	Receitas (R\$)	Total (R\$)	Total Descontado (R\$)	Total Descontado Acumulado (R\$)
0	-669.115	0	0	-669.115	-669.115	-669.115
1		-21.729	50.828	29.098	28.176	-640.939
2		-22.599	52.861	30.262	28.374	-612.565
3		-23.503	54.975	31.473	28.574	-583.991
4		-24.443	57.174	32.732	28.775	-555.216
5		-25.420	59.461	34.041	28.978	-526.238
6		-26.437	61.840	35.402	29.182	-497.056
7		-27.495	64.313	36.819	29.387	-467.669
8		-28.594	66.886	38.291	29.594	-438.075
9		-29.738	69.561	39.823	29.802	-408.273
10		-30.928	72.344	41.416	30.012	-378.261
11		-32.165	75.237	43.072	30.223	-348.038
12		-33.451	78.247	44.795	30.436	-317.602
13		-34.790	81.377	46.587	30.650	-286.952
14		-36.181	84.632	48.451	30.866	-256.086
15		-37.628	88.017	50.389	31.083	-225.003
16		-39.133	91.538	52.404	31.302	-193.701
17		-40.699	95.199	54.500	31.522	-162.179
18		-42.327	99.007	56.680	31.744	-130.435
19		-44.020	102.967	58.948	31.968	-98.467
20		-45.781	107.086	61.306	32.193	-66.275
21		-47.612	111.370	63.758	32.419	-33.855
22		-49.516	115.824	66.308	32.647	-1.208
23		-51.497	120.457	68.960	32.877	31.669
24		-53.557	125.276	71.719	33.109	64.778
25		-55.699	130.287	74.588	33.342	98.119
VPL					98.119	

Fonte: Autora (2020).

f) 4% de lixiviado

ETE Rosa Elze						
Ano	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	Receitas (R\$)	Total (R\$)	Total Descontado (R\$)	Total Descontado Acumulado (R\$)
0	-675.435	0	0	-675.435	-675.435	-675.435
1		-23.305	54.458	31.154	30.166	-645.269
2		-24.237	56.637	32.400	30.378	-614.890
3		-25.206	58.902	33.696	30.592	-584.298
4		-26.215	61.258	35.043	30.808	-553.491
5		-27.263	63.708	36.445	31.024	-522.466
6		-28.354	66.257	37.903	31.243	-491.223
7		-29.488	68.907	39.419	31.463	-459.761
8		-30.667	71.663	40.996	31.684	-428.076
9		-31.894	74.530	42.636	31.907	-396.169
10		-33.170	77.511	44.341	32.132	-364.037
11		-34.497	80.611	46.115	32.358	-331.679
12		-35.877	83.836	47.959	32.586	-299.094
13		-37.312	87.189	49.878	32.815	-266.279
14		-38.804	90.677	51.873	33.046	-233.233
15		-40.356	94.304	53.948	33.279	-199.954
16		-41.970	98.076	56.106	33.513	-166.441
17		-43.649	101.999	58.350	33.749	-132.692
18		-45.395	106.079	60.684	33.986	-98.706
19		-47.211	110.322	63.111	34.226	-64.481
20		-49.099	114.735	65.636	34.466	-30.014
21		-51.063	119.325	68.261	34.709	4.695
22		-53.106	124.098	70.992	34.953	39.648
23		-55.230	129.062	73.831	35.199	74.847
24		-57.439	134.224	76.785	35.447	110.295
25		-59.737	139.593	79.856	35.697	145.991
VPL					145.991	

Fonte: Autora (2020).

g) 5% de lixiviado

ETE Rosa Elze						
Ano	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	Receitas (R\$)	Total (R\$)	Total Descontado (R\$)	Total Descontado Acumulado (R\$)
0	-682.986	0	0	-682.986	-682.986	-682.986
1		-24.269	58.089	33.819	32.748	-650.238
2		-25.240	60.412	35.172	32.978	-617.260
3		-26.250	62.829	36.579	33.210	-584.050
4		-27.300	65.342	38.042	33.444	-550.606
5		-28.392	67.956	39.564	33.679	-516.927
6		-29.527	70.674	41.146	33.916	-483.011
7		-30.708	73.501	42.792	34.155	-448.856
8		-31.937	76.441	44.504	34.395	-414.460
9		-33.214	79.498	46.284	34.638	-379.823
10		-34.543	82.678	48.136	34.881	-344.941
11		-35.925	85.986	50.061	35.127	-309.814
12		-37.362	89.425	52.063	35.374	-274.440
13		-38.856	93.002	54.146	35.623	-238.817
14		-40.410	96.722	56.312	35.874	-202.943
15		-42.027	100.591	58.564	36.126	-166.817
16		-43.708	104.615	60.907	36.381	-130.436
17		-45.456	108.799	63.343	36.637	-93.799
18		-47.274	113.151	65.877	36.895	-56.905
19		-49.165	117.677	68.512	37.154	-19.751
20		-51.132	122.384	71.252	37.416	17.665
21		-53.177	127.280	74.102	37.679	55.344
22		-55.304	132.371	77.067	37.944	93.289
23		-57.516	137.666	80.149	38.211	131.500
24		-59.817	143.172	83.355	38.480	169.980
25		-62.210	148.899	86.689	38.751	208.732
VPL					208.732	

Fonte: Autora (2020).

APÊNDICE E – FLUXO DE CAIXA E VPL PARA ERQ SUL CCTL

a) Apenas esgoto sanitário

ERQ Sul						
Ano	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	Receitas (R\$)	Total (R\$)	Total Descontado (R\$)	Total Descontado Acumulado (R\$)
0	-926.931	0	0	-926.931	-926.931	-926.931
1		-28.616	86.603	57.987	56.149	-870.782
2		-29.761	90.067	60.307	56.544	-814.237
3		-30.951	93.670	62.719	56.942	-757.295
4		-32.189	97.417	65.228	57.343	-699.951
5		-33.477	101.313	67.837	57.747	-642.204
6		-34.816	105.366	70.550	58.153	-584.051
7		-36.208	109.581	73.372	58.563	-525.488
8		-37.657	113.964	76.307	58.975	-466.514
9		-39.163	118.522	79.359	59.390	-407.124
10		-40.730	123.263	82.534	59.808	-347.316
11		-42.359	128.194	85.835	60.229	-287.087
12		-44.053	133.322	89.268	60.653	-226.434
13		-45.815	138.655	92.839	61.080	-165.354
14		-47.648	144.201	96.553	61.510	-103.844
15		-49.554	149.969	100.415	61.943	-41.902
16		-51.536	155.967	104.431	62.379	20.477
17		-53.597	162.206	108.609	62.818	83.295
18		-55.741	168.694	112.953	63.260	146.555
19		-57.971	175.442	117.471	63.705	210.260
20		-60.290	182.460	122.170	64.154	274.413
21		-62.701	189.758	127.057	64.605	339.018
22		-65.209	197.349	132.139	65.060	404.078
23		-67.818	205.243	137.425	65.518	469.596
24		-70.531	213.452	142.922	65.979	535.575
25		-73.352	221.990	148.639	66.443	602.018
VPL (R\$)					602.018	

Fonte: Autora (2020).

b) 0,5% de lixiviado

ERQ Sul						
Ano	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	Receitas (R\$)	Total (R\$)	Total Descontado (R\$)	Total Descontado Acumulado (R\$)
0	-941.190	0	0	-941.190	-941.190	-941.190
1		-30.207	437.763	407.555	394.638	-546.552
2		-31.416	455.273	423.858	397.416	-149.135
3		-32.672	473.484	440.812	400.213	251.078
4		-33.979	492.423	458.444	403.030	654.108
5		-35.338	512.120	476.782	405.867	1.059.975
6		-36.752	532.605	495.853	408.724	1.468.699
7		-38.222	553.909	515.688	411.601	1.880.300
8		-39.751	576.066	536.315	414.498	2.294.798
9		-41.341	599.108	557.768	417.415	2.712.213
10		-42.994	623.073	580.078	420.353	3.132.567
11		-44.714	647.996	603.281	423.312	3.555.879
12		-46.503	673.916	627.413	426.292	3.982.170
13		-48.363	700.872	652.509	429.292	4.411.462
14		-50.297	728.907	678.610	432.314	4.843.776
15		-52.309	758.063	705.754	435.357	5.279.133
16		-54.402	788.386	733.984	438.421	5.717.553
17		-56.578	819.921	763.344	441.507	6.159.060
18		-58.841	852.718	793.877	444.614	6.603.675
19		-61.195	886.827	825.632	447.744	7.051.419
20		-63.642	922.300	858.658	450.895	7.502.314
21		-66.188	959.192	893.004	454.069	7.956.383
22		-68.836	997.560	928.724	457.265	8.413.648
23		-71.589	1.037.462	965.873	460.484	8.874.132
24		-74.453	1.078.961	1.004.508	463.725	9.337.856
25		-77.431	1.122.119	1.044.688	466.989	9.804.845
VPL (R\$)					9.804.845	

Fonte: Autora (2020).

c) 1% de lixiviado

ERQ Sul						
Ano	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	Receitas (R\$)	Total (R\$)	Total Descontado (R\$)	Total Descontado Acumulado (R\$)
0	-955.740	0	0	-955.740	-955.740	-955.740
1		-30.755	778.097	747.342	723.656	-232.085
2		-31.985	809.221	777.236	728.749	496.665
3		-33.264	841.589	808.325	733.879	1.230.544
4		-34.595	875.253	840.658	739.044	1.969.588
5		-35.979	910.263	874.284	744.246	2.713.834
6		-37.418	946.674	909.256	749.485	3.463.319
7		-38.915	984.541	945.626	754.760	4.218.079
8		-40.471	1.023.922	983.451	760.072	4.978.151
9		-42.090	1.064.879	1.022.789	765.422	5.743.574
10		-43.774	1.107.474	1.063.701	770.810	6.514.383
11		-45.525	1.151.773	1.106.249	776.235	7.290.619
12		-47.346	1.197.844	1.150.499	781.699	8.072.318
13		-49.240	1.245.758	1.196.518	787.201	8.859.519
14		-51.209	1.295.588	1.244.379	792.742	9.652.260
15		-53.258	1.347.412	1.294.154	798.322	10.450.582
16		-55.388	1.401.308	1.345.921	803.941	11.254.523
17		-57.603	1.457.361	1.399.757	809.599	12.064.122
18		-59.907	1.515.655	1.455.748	815.298	12.879.420
19		-62.304	1.576.281	1.513.978	821.036	13.700.456
20		-64.796	1.639.333	1.574.537	826.815	14.527.271
21		-67.388	1.704.906	1.637.518	832.635	15.359.906
22		-70.083	1.773.102	1.703.019	838.496	16.198.402
23		-72.887	1.844.026	1.771.140	844.397	17.042.799
24		-75.802	1.917.787	1.841.985	850.341	17.893.140
25		-78.834	1.994.499	1.915.665	856.326	18.749.466
VPL (R\$)					18.749.466	

Fonte: Autora (2020).

d) 2% de lixiviado

ERQ Sul						
Ano	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	Receitas (R\$)	Total (R\$)	Total Descontado (R\$)	Total Descontado Acumulado (R\$)
0	-941.142	0	0	-941.142	-941.142	-941.142
1		-30.205	1.458.765	1.428.560	1.383.284	442.142
2		-31.413	1.517.116	1.485.703	1.393.020	1.835.163
3		-32.669	1.577.800	1.545.131	1.402.825	3.237.988
4		-33.976	1.640.912	1.606.936	1.412.699	4.650.687
5		-35.335	1.706.549	1.671.213	1.422.643	6.073.330
6		-36.749	1.774.811	1.738.062	1.432.656	7.505.986
7		-38.219	1.845.803	1.807.584	1.442.740	8.948.726
8		-39.747	1.919.635	1.879.888	1.452.895	10.401.621
9		-41.337	1.996.421	1.955.083	1.463.121	11.864.742
10		-42.991	2.076.277	2.033.287	1.473.420	13.338.162
11		-44.710	2.159.329	2.114.618	1.483.791	14.821.952
12		-46.499	2.245.702	2.199.203	1.494.234	16.316.187
13		-48.359	2.335.530	2.287.171	1.504.752	17.820.938
14		-50.293	2.428.951	2.378.658	1.515.343	19.336.282
15		-52.305	2.526.109	2.473.804	1.526.009	20.862.290
16		-54.397	2.627.153	2.572.756	1.536.750	22.399.040
17		-56.573	2.732.239	2.675.666	1.547.567	23.946.607
18		-58.836	2.841.529	2.782.693	1.558.459	25.505.066
19		-61.189	2.955.190	2.894.001	1.569.429	27.074.495
20		-63.637	3.073.398	3.009.761	1.580.475	28.654.970
21		-66.182	3.196.334	3.130.151	1.591.600	30.246.570
22		-68.830	3.324.187	3.255.357	1.602.802	31.849.372
23		-71.583	3.457.155	3.385.572	1.614.084	33.463.456
24		-74.446	3.595.441	3.520.995	1.625.445	35.088.901
25		-77.424	3.739.258	3.661.834	1.636.886	36.725.787
VPL (R\$)					36.725.787	

Fonte: Autora (2020).

e) 3% de lixiviado

ERQ Sul						
Ano	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	Receitas (R\$)	Total (R\$)	Total Descontado (R\$)	Total Descontado Acumulado (R\$)
0	-967.677	0	0	-967.677	-967.677	-967.677
1		-29.071	2.150.259	2.121.187	2.053.959	1.086.282
2		-30.234	2.236.269	2.206.035	2.068.416	3.154.698
3		-31.444	2.325.720	2.294.276	2.082.975	5.237.673
4		-32.701	2.418.748	2.386.047	2.097.636	7.335.309
5		-34.009	2.515.498	2.481.489	2.112.401	9.447.710
6		-35.370	2.616.118	2.580.748	2.127.269	11.574.979
7		-36.785	2.720.763	2.683.978	2.142.242	13.717.221
8		-38.256	2.829.594	2.791.338	2.157.320	15.874.541
9		-39.786	2.942.777	2.902.991	2.172.505	18.047.046
10		-41.378	3.060.488	3.019.111	2.187.796	20.234.842
11		-43.033	3.182.908	3.139.875	2.203.195	22.438.038
12		-44.754	3.310.224	3.265.470	2.218.703	24.656.741
13		-46.544	3.442.633	3.396.089	2.234.319	26.891.060
14		-48.406	3.580.339	3.531.932	2.250.046	29.141.106
15		-50.342	3.723.552	3.673.210	2.265.883	31.406.989
16		-52.356	3.872.494	3.820.138	2.281.832	33.688.821
17		-54.450	4.027.394	3.972.944	2.297.893	35.986.714
18		-56.628	4.188.490	4.131.861	2.314.067	38.300.781
19		-58.893	4.356.029	4.297.136	2.330.355	40.631.136
20		-61.249	4.530.270	4.469.021	2.346.757	42.977.893
21		-63.699	4.711.481	4.647.782	2.363.275	45.341.168
22		-66.247	4.899.941	4.833.693	2.379.909	47.721.077
23		-68.897	5.095.938	5.027.041	2.396.661	50.117.738
24		-71.653	5.299.776	5.228.123	2.413.530	52.531.268
25		-74.519	5.511.767	5.437.248	2.430.518	54.961.785
VPL (R\$)					54.961.785	

Fonte: Autora (2020).

f) 4% de lixiviado

ERQ Sul						
Ano	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	Receitas (R\$)	Total (R\$)	Total Descontado (R\$)	Total Descontado Acumulado (R\$)
0	-975.640	0	0	-975.640	-975.640	-975.640
1		-32.556	2.830.927	2.798.371	2.709.681	1.734.040
2		-33.858	2.944.164	2.910.306	2.728.753	4.462.793
3		-35.212	3.061.930	3.026.718	2.747.960	7.210.753
4		-36.621	3.184.408	3.147.787	2.767.301	9.978.054
5		-38.086	3.311.784	3.273.698	2.786.779	12.764.834
6		-39.609	3.444.255	3.404.646	2.806.394	15.571.228
7		-41.193	3.582.025	3.540.832	2.826.148	18.397.376
8		-42.841	3.725.306	3.682.465	2.846.040	21.243.416
9		-44.555	3.874.319	3.829.764	2.866.072	24.109.488
10		-46.337	4.029.291	3.982.955	2.886.245	26.995.733
11		-48.190	4.190.463	4.142.273	2.906.560	29.902.293
12		-50.118	4.358.082	4.307.964	2.927.019	32.829.312
13		-52.123	4.532.405	4.480.282	2.947.621	35.776.932
14		-54.208	4.713.701	4.659.494	2.968.368	38.745.300
15		-56.376	4.902.249	4.845.873	2.989.261	41.734.561
16		-58.631	5.098.339	5.039.708	3.010.301	44.744.863
17		-60.976	5.302.273	5.241.297	3.031.490	47.776.352
18		-63.415	5.514.364	5.450.948	3.052.827	50.829.180
19		-65.952	5.734.938	5.668.986	3.074.315	53.903.495
20		-68.590	5.964.336	5.895.746	3.095.954	56.999.448
21		-71.333	6.202.909	6.131.576	3.117.745	60.117.193
22		-74.187	6.451.025	6.376.839	3.139.690	63.256.883
23		-77.154	6.709.066	6.631.912	3.161.789	66.418.672
24		-80.240	6.977.429	6.897.189	3.184.043	69.602.715
25		-83.450	7.256.526	7.173.076	3.206.455	72.809.170
VPL (R\$)					72.809.170	

Fonte: Autora (2020).

g) 5% de lixiviado

ERQ Sul						
Ano	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	Receitas (R\$)	Total (R\$)	Total Descontado (R\$)	Total Descontado Acumulado (R\$)
0	-1.002.006	0	0	1.002.006	-1.002.006	-1.002.006
1		-34.610	3.522.420	3.487.811	3.377.269	2.375.264
2		-35.994	3.663.317	3.627.323	3.401.041	5.776.304
3		-37.434	3.809.850	3.772.416	3.424.979	9.201.284
4		-38.931	3.962.244	3.923.313	3.449.086	12.650.370
5		-40.488	4.120.734	4.080.245	3.473.363	16.123.733
6		-42.108	4.285.563	4.243.455	3.497.811	19.621.544
7		-43.792	4.456.985	4.413.193	3.522.431	23.143.975
8		-45.544	4.635.265	4.589.721	3.547.224	26.691.199
9		-47.366	4.820.675	4.773.310	3.572.191	30.263.390
10		-49.260	5.013.502	4.964.242	3.597.335	33.860.725
11		-51.231	5.214.043	5.162.812	3.622.655	37.483.379
12		-53.280	5.422.604	5.369.324	3.648.153	41.131.533
13		-55.411	5.639.508	5.584.097	3.673.831	44.805.364
14		-57.627	5.865.089	5.807.461	3.699.690	48.505.054
15		-59.933	6.099.692	6.039.760	3.725.731	52.230.785
16		-62.330	6.343.680	6.281.350	3.751.955	55.982.739
17		-64.823	6.597.427	6.532.604	3.778.363	59.761.103
18		-67.416	6.861.324	6.793.908	3.804.958	63.566.060
19		-70.113	7.135.777	7.065.665	3.831.739	67.397.800
20		-72.917	7.421.208	7.348.291	3.858.710	71.256.509
21		-75.834	7.718.057	7.642.223	3.885.870	75.142.379
22		-78.867	8.026.779	7.947.912	3.913.221	79.055.599
23		-82.022	8.347.850	8.265.828	3.940.764	82.996.364
24		-85.303	8.681.764	8.596.461	3.968.502	86.964.866
25		-88.715	9.029.035	8.940.320	3.996.435	90.961.300
VPL (R\$)					90.961.300	

Fonte: Autora (2020).

APÊNDICE F – FLUXO DE CAIXA E VPL PARA ERQ OESTE CCTL

a) Apenas esgoto sanitário

Fluxo de Caixa - ERQ Oeste						
Ano	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	Receitas (R\$)	Total (R\$)	Total Descontado (R\$)	Total Descontado Acumulado (R\$)
0	-883.396	0	0	-883.396	-883.396	-883.396
1		-24.792	64.952	40.160	38.887	-844.509
2		-25.784	67.550	41.767	39.161	-805.347
3		-26.815	70.253	43.437	39.437	-765.911
4		-27.888	73.063	45.175	39.714	-726.196
5		-29.003	75.985	46.982	39.994	-686.203
6		-30.164	79.025	48.861	40.275	-645.927
7		-31.370	82.186	50.815	40.559	-605.368
8		-32.625	85.473	52.848	40.844	-564.524
9		-33.930	88.892	54.962	41.132	-523.392
10		-35.287	92.448	57.160	41.421	-481.971
11		-36.699	96.145	59.447	41.713	-440.258
12		-38.166	99.991	61.825	42.006	-398.252
13		-39.693	103.991	64.298	42.302	-355.950
14		-41.281	108.151	66.870	42.600	-313.350
15		-42.932	112.477	69.544	42.900	-270.450
16		-44.649	116.976	72.326	43.202	-227.248
17		-46.435	121.655	75.219	43.506	-183.743
18		-48.293	126.521	78.228	43.812	-139.931
19		-50.224	131.582	81.357	44.120	-95.810
20		-52.233	136.845	84.611	44.431	-51.379
21		-54.323	142.319	87.996	44.744	-6.636
22		-56.496	148.011	91.516	45.059	38.423
23		-58.756	153.932	95.176	45.376	83.798
24		-61.106	160.089	98.983	45.695	129.493
25		-63.550	166.493	102.943	46.017	175.510
VPL (R\$)					175.510	

Fonte: Autora (2020).

a) 0,5% de lixiviado

Fluxo de Caixa - ERQ Oeste						
Ano	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	Receitas (R\$)	Total (R\$)	Total Descontado (R\$)	Total Descontado Acumulado (R\$)
0	-897.364	0	0	-897.364	-897.364	-897.364
1		-26.368	435.623	409.255	396.284	-501.080
2		-27.423	453.048	425.625	399.073	-102.007
3		-28.520	471.169	442.650	401.882	299.875
4		-29.660	490.016	460.356	404.711	704.586
5		-30.847	509.617	478.770	407.559	1.112.145
6		-32.081	530.002	497.921	410.428	1.522.573
7		-33.364	551.202	517.838	413.317	1.935.890
8		-34.699	573.250	538.551	416.226	2.352.116
9		-36.087	596.180	560.093	419.156	2.771.271
10		-37.530	620.027	582.497	422.106	3.193.377
11		-39.031	644.828	605.797	425.077	3.618.454
12		-40.592	670.621	630.029	428.069	4.046.523
13		-42.216	697.446	655.230	431.082	4.477.605
14		-43.905	725.344	681.439	434.116	4.911.721
15		-45.661	754.357	708.696	437.172	5.348.893
16		-47.487	784.532	737.044	440.249	5.789.142
17		-49.387	815.913	766.526	443.348	6.232.489
18		-51.362	848.550	797.187	446.468	6.678.958
19		-53.417	882.492	829.075	449.611	7.128.568
20		-55.554	917.791	862.238	452.775	7.581.344
21		-57.776	954.503	896.727	455.962	8.037.306
22		-60.087	992.683	932.596	459.172	8.496.477
23		-62.490	1.032.390	969.900	462.403	8.958.881
24		-64.990	1.073.686	1.008.696	465.658	9.424.539
25		-67.589	1.116.633	1.049.044	468.936	9.893.475
VPL (R\$)					9.893.475	

Fonte: Autora (2020).

b) 1% de lixiviado

Fluxo de Caixa - ERQ Oeste						
Ano	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	Receitas (R\$)	Total (R\$)	Total Descontado (R\$)	Total Descontado Acumulado (R\$)
0	-910.222	0	0	-910.222	-910.222	-910.222
1		-26.870	795.467	768.597	744.237	-165.985
2		-27.945	827.286	799.341	749.476	583.491
3		-29.063	860.378	831.314	754.751	1.338.242
4		-30.226	894.793	864.567	760.063	2.098.305
5		-31.435	930.584	899.150	765.413	2.863.718
6		-32.692	967.808	935.116	770.801	3.634.519
7		-34.000	1.006.520	972.520	776.226	4.410.745
8		-35.360	1.046.781	1.011.421	781.690	5.192.435
9		-36.774	1.088.652	1.051.878	787.192	5.979.626
10		-38.245	1.132.198	1.093.953	792.732	6.772.359
11		-39.775	1.177.486	1.137.711	798.312	7.570.671
12		-41.366	1.224.586	1.183.220	803.931	8.374.602
13		-43.020	1.273.569	1.230.549	809.590	9.184.192
14		-44.741	1.324.512	1.279.770	815.288	9.999.480
15		-46.531	1.377.492	1.330.961	821.027	10.820.506
16		-48.392	1.432.592	1.384.200	826.805	11.647.312
17		-50.328	1.489.896	1.439.568	832.625	12.479.937
18		-52.341	1.549.491	1.497.150	838.486	13.318.422
19		-54.435	1.611.471	1.557.036	844.387	14.162.810
20		-56.612	1.675.930	1.619.318	850.331	15.013.140
21		-58.877	1.742.967	1.684.091	856.316	15.869.456
22		-61.232	1.812.686	1.751.454	862.343	16.731.799
23		-63.681	1.885.193	1.821.512	868.413	17.600.212
24		-66.228	1.960.601	1.894.373	874.525	18.474.737
25		-68.877	2.039.025	1.970.148	880.681	19.355.418
VPL (R\$)					19.355.418	

Fonte: Autora (2020).

c) 2% de lixiviado

Fluxo de Caixa - ERQ Oeste						
Ano	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	Receitas (R\$)	Total (R\$)	Total Descontado (R\$)	Total Descontado Acumulado (R\$)
0	-940.481	0	0	-940.481	-940.481	-940.481
1		-29.042	1.525.983	1.496.941	1.449.497	509.016
2		-30.203	1.587.022	1.556.819	1.459.700	1.968.716
3		-31.411	1.650.503	1.619.091	1.469.974	3.438.690
4		-32.668	1.716.523	1.683.855	1.480.321	4.919.011
5		-33.975	1.785.184	1.751.209	1.490.740	6.409.751
6		-35.334	1.856.591	1.821.258	1.501.233	7.910.984
7		-36.747	1.930.855	1.894.108	1.511.800	9.422.784
8		-38.217	2.008.089	1.969.872	1.522.441	10.945.224
9		-39.745	2.088.412	2.048.667	1.533.156	12.478.381
10		-41.335	2.171.949	2.130.614	1.543.948	14.022.328
11		-42.989	2.258.827	2.215.838	1.554.815	15.577.143
12		-44.708	2.349.180	2.304.472	1.565.759	17.142.902
13		-46.496	2.443.147	2.396.651	1.576.779	18.719.681
14		-48.356	2.540.873	2.492.517	1.587.878	20.307.559
15		-50.291	2.642.508	2.592.217	1.599.054	21.906.613
16		-52.302	2.748.208	2.695.906	1.610.309	23.516.923
17		-54.394	2.858.137	2.803.742	1.621.644	25.138.567
18		-56.570	2.972.462	2.915.892	1.633.058	26.771.625
19		-58.833	3.091.361	3.032.528	1.644.552	28.416.177
20		-61.186	3.215.015	3.153.829	1.656.128	30.072.305
21		-63.634	3.343.616	3.279.982	1.667.785	31.740.089
22		-66.179	3.477.360	3.411.181	1.679.524	33.419.613
23		-68.826	3.616.455	3.547.628	1.691.345	35.110.958
24		-71.579	3.761.113	3.689.534	1.703.250	36.814.208
25		-74.442	3.911.557	3.837.115	1.715.238	38.529.446
VPL (R\$)					38.529.446	

Fonte: Autora (2020).

d) 3% de lixiviado

Fluxo de Caixa - ERQ Oeste						
Ano	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	Receitas (R\$)	Total (R\$)	Total Descontado (R\$)	Total Descontado Acumulado (R\$)
0	-971.808	0	0	-971.808	-971.808	-971.808
1		-29.796	2.267.323	2.237.527	2.166.612	1.194.804
2		-30.987	2.358.016	2.327.028	2.181.862	3.376.666
3		-32.227	2.452.337	2.420.110	2.197.219	5.573.886
4		-33.516	2.550.430	2.516.914	2.212.685	7.786.570
5		-34.857	2.652.447	2.617.591	2.228.259	10.014.829
6		-36.251	2.758.545	2.722.294	2.243.943	12.258.772
7		-37.701	2.868.887	2.831.186	2.259.737	14.518.509
8		-39.209	2.983.642	2.944.433	2.275.642	16.794.151
9		-40.777	3.102.988	3.062.211	2.291.660	19.085.811
10		-42.408	3.227.108	3.184.699	2.307.790	21.393.601
11		-44.105	3.356.192	3.312.087	2.324.034	23.717.634
12		-45.869	3.490.440	3.444.571	2.340.392	26.058.026
13		-47.704	3.630.057	3.582.353	2.356.865	28.414.891
14		-49.612	3.775.259	3.725.648	2.373.454	30.788.344
15		-51.596	3.926.270	3.874.673	2.390.160	33.178.504
16		-53.660	4.083.321	4.029.660	2.406.983	35.585.487
17		-55.807	4.246.653	4.190.847	2.423.925	38.009.412
18		-58.039	4.416.520	4.358.481	2.440.986	40.450.398
19		-60.360	4.593.180	4.532.820	2.458.167	42.908.565
20		-62.775	4.776.907	4.714.133	2.475.469	45.384.034
21		-65.286	4.967.984	4.902.698	2.492.893	47.876.927
22		-67.897	5.166.703	5.098.806	2.510.440	50.387.367
23		-70.613	5.373.371	5.302.758	2.528.110	52.915.476
24		-73.438	5.588.306	5.514.868	2.545.904	55.461.380
25		-76.375	5.811.838	5.735.463	2.563.824	58.025.204
VPL (R\$)					58.025.204	

Fonte: Autora (2020).

e) 4% de lixiviado

Fluxo de Caixa - ERQ Oeste						
Ano	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	Receitas (R\$)	Total (R\$)	Total Descontado (R\$)	Total Descontado Acumulado (R\$)
0	-955.832	0	0	-955.832	-955.832	-955.832
1		-30.691	2.976.187	2.945.497	2.852.143	1.896.311
2		-31.918	3.095.235	3.063.317	2.872.218	4.768.529
3		-33.195	3.219.044	3.185.849	2.892.435	7.660.964
4		-34.523	3.347.806	3.313.283	2.912.794	10.573.757
5		-35.904	3.481.718	3.445.815	2.933.296	13.507.053
6		-37.340	3.620.987	3.583.647	2.953.942	16.460.995
7		-38.833	3.765.826	3.726.993	2.974.734	19.435.729
8		-40.387	3.916.459	3.876.073	2.995.672	22.431.400
9		-42.002	4.073.118	4.031.116	3.016.757	25.448.157
10		-43.682	4.236.042	4.192.360	3.037.991	28.486.148
11		-45.429	4.405.484	4.360.055	3.059.374	31.545.522
12		-47.247	4.581.703	4.534.457	3.080.908	34.626.430
13		-49.137	4.764.972	4.715.835	3.102.593	37.729.023
14		-51.102	4.955.570	4.904.468	3.124.431	40.853.454
15		-53.146	5.153.793	5.100.647	3.146.423	43.999.877
16		-55.272	5.359.945	5.304.673	3.168.569	47.168.446
17		-57.483	5.574.343	5.516.860	3.190.872	50.359.318
18		-59.782	5.797.317	5.737.534	3.213.331	53.572.649
19		-62.173	6.029.209	5.967.036	3.235.948	56.808.597
20		-64.660	6.270.378	6.205.717	3.258.725	60.067.322
21		-67.247	6.521.193	6.453.946	3.281.662	63.348.984
22		-69.937	6.782.040	6.712.104	3.304.760	66.653.745
23		-72.734	7.053.322	6.980.588	3.328.021	69.981.766
24		-75.643	7.335.455	7.259.811	3.351.446	73.333.212
25		-78.669	7.628.873	7.550.204	3.375.035	76.708.247
VPL (R\$)					76.708.247	

Fonte: Autora (2020).

f) 5% de lixiviado

Fluxo de Caixa - ERQ Oeste						
Ano	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	Receitas (R\$)	Total (R\$)	Total Descontado (R\$)	Total Descontado Acumulado (R\$)
0	-986.140	0	0	-986.140	-986.140	-986.140
1		-32.864	3.706.702	3.673.838	3.557.401	2.571.261
2		-34.179	3.854.970	3.820.792	3.582.440	6.153.701
3		-35.546	4.009.169	3.973.623	3.607.655	9.761.357
4		-36.968	4.169.536	4.132.568	3.633.048	13.394.405
5		-38.446	4.336.317	4.297.871	3.658.620	17.053.025
6		-39.984	4.509.770	4.469.786	3.684.372	20.737.396
7		-41.584	4.690.161	4.648.577	3.710.304	24.447.701
8		-43.247	4.877.767	4.834.520	3.736.420	28.184.121
9		-44.977	5.072.878	5.027.901	3.762.719	31.946.840
10		-46.776	5.275.793	5.229.017	3.789.203	35.736.043
11		-48.647	5.486.825	5.438.178	3.815.874	39.551.918
12		-50.593	5.706.298	5.655.705	3.842.733	43.394.650
13		-52.617	5.934.550	5.881.933	3.869.780	47.264.431
14		-54.721	6.171.932	6.117.210	3.897.018	51.161.449
15		-56.910	6.418.809	6.361.899	3.924.448	55.085.897
16		-59.187	6.675.561	6.616.375	3.952.070	59.037.967
17		-61.554	6.942.584	6.881.030	3.979.888	63.017.855
18		-64.016	7.220.287	7.156.271	4.007.901	67.025.755
19		-66.577	7.509.099	7.442.522	4.036.111	71.061.866
20		-69.240	7.809.463	7.740.223	4.064.519	75.126.385
21		-72.009	8.121.841	8.049.832	4.093.128	79.219.513
22		-74.890	8.446.715	8.371.825	4.121.938	83.341.451
23		-77.885	8.784.583	8.706.698	4.150.951	87.492.401
24		-81.001	9.135.967	9.054.966	4.180.168	91.672.569
25		-84.241	9.501.405	9.417.164	4.209.590	95.882.159
VPL (R\$)					95.882.159	

Fonte: Autora (2020).

APÊNDICE G – FLUXO DE CAIXA E VPL ETE BARRA CCTL

a) Apenas esgoto sanitário

ETE Barra						
Ano	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	Receitas (R\$)	Total (R\$)	Total Descontado (R\$)	Total Descontado Acumulado (R\$)
0	-594.299	0	0	-594.299	-594.299	-594.299
1		-12.116	10.892	-1.224	-1.185	-595.485
2		-12.601	11.327	-1.273	-1.194	-596.678
3		-13.105	11.780	-1.324	-1.202	-597.881
4		-13.629	12.252	-1.377	-1.211	-599.091
5		-14.174	12.742	-1.432	-1.219	-600.311
6		-14.741	13.251	-1.489	-1.228	-601.538
7		-15.330	13.781	-1.549	-1.236	-602.775
8		-15.944	14.333	-1.611	-1.245	-604.020
9		-16.581	14.906	-1.675	-1.254	-605.274
10		-17.245	15.502	-1.742	-1.263	-606.536
11		-17.934	16.122	-1.812	-1.272	-607.808
12		-18.652	16.767	-1.885	-1.281	-609.088
13		-19.398	17.438	-1.960	-1.290	-610.378
14		-20.174	18.135	-2.038	-1.299	-611.677
15		-20.981	18.861	-2.120	-1.308	-612.984
16		-21.820	19.615	-2.205	-1.317	-614.301
17		-22.693	20.400	-2.293	-1.326	-615.628
18		-23.601	21.216	-2.385	-1.336	-616.963
19		-24.545	22.064	-2.480	-1.345	-618.308
20		-25.526	22.947	-2.579	-1.354	-619.663
21		-26.547	23.865	-2.682	-1.364	-621.027
22		-27.609	24.820	-2.790	-1.374	-622.400
23		-28.714	25.812	-2.901	-1.383	-623.783
24		-29.862	26.845	-3.017	-1.393	-625.176
25		-31.057	27.919	-3.138	-1.403	-626.579
VPL (R\$)					-626.579	

Fonte: Autora (2020).

a) 0,5% de lixiviado

ETE Barra						
Ano	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	Receitas (R\$)	Total (R\$)	Total Descontado (R\$)	Total Descontado Acumulado (R\$)
0	-596.452	0	0	-596.452	-596.452	-596.452
1		-12.185	44.464	32.279	31.256	-565.196
2		-12.673	46.243	33.570	31.476	-533.721
3		-13.180	48.092	34.913	31.697	-502.024
4		-13.707	50.016	36.309	31.920	-470.103
5		-14.255	52.017	37.762	32.145	-437.958
6		-14.825	54.097	39.272	32.371	-405.587
7		-15.418	56.261	40.843	32.599	-372.988
8		-16.035	58.512	42.477	32.829	-340.159
9		-16.677	60.852	44.176	33.060	-307.100
10		-17.344	63.286	45.943	33.292	-273.808
11		-18.037	65.818	47.780	33.527	-240.281
12		-18.759	68.450	49.692	33.763	-206.518
13		-19.509	71.188	51.679	34.000	-172.518
14		-20.290	74.036	53.746	34.240	-138.278
15		-21.101	76.997	55.896	34.481	-103.798
16		-21.945	80.077	58.132	34.723	-69.075
17		-22.823	83.280	60.457	34.968	-34.107
18		-23.736	86.612	62.876	35.214	1.107
19		-24.685	90.076	65.391	35.462	36.569
20		-25.673	93.679	68.006	35.711	72.280
21		-26.700	97.426	70.727	35.963	108.242
22		-27.768	101.323	73.556	36.216	144.458
23		-28.878	105.376	76.498	36.471	180.929
24		-30.034	109.591	79.558	36.727	217.656
25		-31.235	113.975	82.740	36.986	254.642
VPL (R\$)					254.642	

Fonte: Autora (2020).

b) 1% de lixiviado

ETE Barra						
Ano	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	Receitas (R\$)	Total (R\$)	Total Descontado (R\$)	Total Descontado Acumulado (R\$)
0	-597.083	0	0	-597.083	-597.083	-597.083
1		-12.219	78.037	65.818	63.732	-533.351
2		-12.707	81.158	68.451	64.180	-469.171
3		-13.216	84.404	71.189	64.632	-404.539
4		-13.744	87.780	74.036	65.087	-339.452
5		-14.294	91.292	76.998	65.545	-273.907
6		-14.866	94.943	80.077	66.007	-207.900
7		-15.461	98.741	83.281	66.471	-141.429
8		-16.079	102.691	86.612	66.939	-74.490
9		-16.722	106.798	90.076	67.410	-7.080
10		-17.391	111.070	93.679	67.885	60.805
11		-18.087	115.513	97.426	68.362	129.167
12		-18.810	120.134	101.323	68.844	198.011
13		-19.563	124.939	105.376	69.328	267.339
14		-20.345	129.937	109.591	69.816	337.155
15		-21.159	135.134	113.975	70.308	407.463
16		-22.005	140.539	118.534	70.802	478.265
17		-22.885	146.161	123.276	71.301	549.566
18		-23.801	152.007	128.207	71.803	621.368
19		-24.753	158.088	133.335	72.308	693.676
20		-25.743	164.411	138.668	72.817	766.493
21		-26.773	170.988	144.215	73.329	839.823
22		-27.844	177.827	149.984	73.846	913.668
23		-28.957	184.940	155.983	74.365	988.034
24		-30.116	192.338	162.222	74.889	1.062.923
25		-31.320	200.031	168.711	75.416	1.138.339
VPL (R\$)					1.138.339	

Fonte: Autora (2020).

c) 2% de lixiviado

ETE Barra						
Ano	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	Receitas (R\$)	Total (R\$)	Total Descontado (R\$)	Total Descontado Acumulado (R\$)
0	-596.355	0	0	-596.355	-596.355	-596.355
1		-12.180	145.181	133.001	128.786	-467.569
2		-12.667	150.989	138.321	129.692	-337.877
3		-13.174	157.028	143.854	130.605	-207.272
4		-13.701	163.309	149.608	131.524	-75.747
5		-14.249	169.842	155.593	132.450	56.703
6		-14.819	176.635	161.816	133.383	190.086
7		-15.412	183.701	168.289	134.321	324.407
8		-16.028	191.049	175.020	135.267	459.674
9		-16.670	198.691	182.021	136.219	595.893
10		-17.336	206.638	189.302	137.178	733.070
11		-18.030	214.904	196.874	138.143	871.213
12		-18.751	223.500	204.749	139.116	1.010.329
13		-19.501	232.440	212.939	140.095	1.150.424
14		-20.281	241.738	221.457	141.081	1.291.504
15		-21.092	251.407	230.315	142.074	1.433.578
16		-21.936	261.464	239.528	143.074	1.576.652
17		-22.813	271.922	249.109	144.081	1.720.733
18		-23.726	282.799	259.073	145.095	1.865.828
19		-24.675	294.111	269.436	146.116	2.011.944
20		-25.662	305.875	280.213	147.145	2.159.089
21		-26.688	318.110	291.422	148.180	2.307.269
22		-27.756	330.835	303.079	149.223	2.456.493
23		-28.866	344.068	315.202	150.274	2.606.766
24		-30.021	357.831	327.810	151.331	2.758.098
25		-31.222	372.144	340.922	152.397	2.910.494
VPL (R\$)					2.910.494	

Fonte: Autora (2020).

d) 3% de lixiviado

ETE Barra						
Ano	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	Receitas (R\$)	Total (R\$)	Total Descontado (R\$)	Total Descontado Acumulado (R\$)
0	-599.139	0	0	-599.139	-599.139	-599.139
1		-12.103	212.326	200.224	193.878	-405.261
2		-12.587	220.819	208.233	195.242	-210.019
3		-13.090	229.652	216.562	196.617	-13.402
4		-13.614	238.838	225.224	198.001	184.598
5		-14.158	248.392	234.233	199.394	383.993
6		-14.725	258.327	243.603	200.798	584.790
7		-15.314	268.661	253.347	202.211	787.001
8		-15.926	279.407	263.481	203.634	990.636
9		-16.563	290.583	274.020	205.068	1.195.703
10		-17.226	302.207	284.981	206.511	1.402.214
11		-17.915	314.295	296.380	207.965	1.610.179
12		-18.632	326.867	308.235	209.428	1.819.607
13		-19.377	339.941	320.564	210.902	2.030.510
14		-20.152	353.539	333.387	212.387	2.242.897
15		-20.958	367.681	346.723	213.882	2.456.778
16		-21.796	382.388	360.591	215.387	2.672.166
17		-22.668	397.683	375.015	216.903	2.889.069
18		-23.575	413.591	390.016	218.430	3.107.499
19		-24.518	430.134	405.616	219.967	3.327.466
20		-25.499	447.340	421.841	221.516	3.548.982
21		-26.519	465.233	438.715	223.075	3.772.057
22		-27.579	483.842	456.263	224.645	3.996.702
23		-28.682	503.196	474.514	226.226	4.222.928
24		-29.830	523.324	493.494	227.818	4.450.746
25		-31.023	544.257	513.234	229.422	4.680.168
VPL (R\$)					4.680.168	

Fonte: Autora (2020).

e) 4% de lixiviado

ETE Barra						
Ano	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	Receitas (R\$)	Total (R\$)	Total Descontado (R\$)	Total Descontado Acumulado (R\$)
0	-601.923	0	0	-601.923	-601.923	-601.923
1		-13.084	283.102	270.017	261.460	-340.463
2		-13.608	294.426	280.818	263.300	-77.163
3		-14.152	306.203	292.051	265.153	187.990
4		-14.718	318.451	303.733	267.019	455.009
5		-15.307	331.189	315.882	268.899	723.908
6		-15.919	344.437	328.517	270.792	994.699
7		-16.556	358.214	341.658	272.698	1.267.397
8		-17.218	372.543	355.324	274.617	1.542.014
9		-17.907	387.444	369.537	276.550	1.818.564
10		-18.623	402.942	384.319	278.496	2.097.060
11		-19.368	419.060	399.692	280.457	2.377.517
12		-20.143	435.822	415.679	282.431	2.659.948
13		-20.949	453.255	432.306	284.419	2.944.366
14		-21.787	471.385	449.599	286.421	3.230.787
15		-22.658	490.241	467.583	288.437	3.519.223
16		-23.564	509.850	486.286	290.467	3.809.690
17		-24.507	530.244	505.737	292.511	4.102.201
18		-25.487	551.454	525.967	294.570	4.396.771
19		-26.507	573.512	547.006	296.643	4.693.415
20		-27.567	596.453	568.886	298.731	4.992.146
21		-28.670	620.311	591.641	300.834	5.292.980
22		-29.816	645.123	615.307	302.952	5.595.932
23		-31.009	670.928	639.919	305.084	5.901.015
24		-32.249	697.765	665.516	307.231	6.208.247
25		-33.539	725.676	692.137	309.394	6.517.640
VPL (R\$)					6.517.640	

Fonte: Autora (2020).

f) 5% de lixiviado

ETE Barra						
Ano	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	Receitas (R\$)	Total (R\$)	Total Descontado (R\$)	Total Descontado Acumulado (R\$)
0	-602.335	0	0	-602.335	-602.335	-602.335
1		-13.106	350.247	337.140	326.455	-275.880
2		-13.630	364.257	350.626	328.753	52.873
3		-14.176	378.827	364.651	331.067	383.940
4		-14.743	393.980	379.237	333.397	717.337
5		-15.332	409.739	394.407	335.744	1.053.081
6		-15.946	426.129	410.183	338.107	1.391.188
7		-16.584	443.174	426.590	340.487	1.731.675
8		-17.247	460.901	443.654	342.883	2.074.559
9		-17.937	479.337	461.400	345.297	2.419.855
10		-18.654	498.510	479.856	347.727	2.767.583
11		-19.400	518.451	499.050	350.175	3.117.758
12		-20.176	539.189	519.012	352.640	3.470.397
13		-20.983	560.756	539.773	355.122	3.825.519
14		-21.823	583.186	561.364	357.621	4.183.140
15		-22.696	606.514	583.818	360.138	4.543.278
16		-23.604	630.774	607.171	362.673	4.905.952
17		-24.548	656.005	631.458	365.226	5.271.178
18		-25.530	682.246	656.716	367.797	5.638.974
19		-26.551	709.535	682.985	370.385	6.009.360
20		-27.613	737.917	710.304	372.992	6.382.352
21		-28.717	767.434	738.716	375.618	6.757.970
22		-29.866	798.131	768.265	378.262	7.136.232
23		-31.061	830.056	798.996	380.924	7.517.156
24		-32.303	863.258	830.955	383.605	7.900.761
25		-33.595	897.789	864.194	386.305	8.287.066
VPL (R\$)					8.287.066	

Fonte: Autora (2020).

APÊNDICE H – FLUXO DE CAIXA E VPL ETE ROSA ELZE CCTL

a) Apenas esgoto sanitário

ETE Rosa Elze						
Ano	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	Receitas (R\$)	Total (R\$)	Total Descontado (R\$)	Total Descontado Acumulado (R\$)
0	-654.176	0	0	-654.176	-654.176	-654.176
1		-23.190	39.936	16.746	16.216	-637.961
2		-24.117	41.533	17.416	16.330	-621.631
3		-25.082	43.195	18.113	16.445	-605.186
4		-26.085	44.923	18.837	16.560	-588.626
5		-27.129	46.719	19.591	16.677	-571.949
6		-28.214	48.588	20.374	16.794	-555.155
7		-29.342	50.532	21.189	16.913	-538.242
8		-30.516	52.553	22.037	17.032	-521.210
9		-31.737	54.655	22.919	17.151	-504.059
10		-33.006	56.841	23.835	17.272	-486.787
11		-34.326	59.115	24.789	17.394	-469.393
12		-35.699	61.480	25.780	17.516	-451.877
13		-37.127	63.939	26.811	17.640	-434.237
14		-38.612	66.496	27.884	17.764	-416.473
15		-40.157	69.156	28.999	17.889	-398.585
16		-41.763	71.922	30.159	18.015	-380.570
17		-43.434	74.799	31.366	18.141	-362.429
18		-45.171	77.791	32.620	18.269	-344.160
19		-46.978	80.903	33.925	18.398	-325.762
20		-48.857	84.139	35.282	18.527	-307.235
21		-50.811	87.505	36.693	18.658	-288.577
22		-52.844	91.005	38.161	18.789	-269.788
23		-54.958	94.645	39.687	18.921	-250.867
24		-57.156	98.431	41.275	19.054	-231.813
25		-59.442	102.368	42.926	19.188	-212.624
VPL					-212.624	

Fonte: Autora (2020).

a) 0,5% de lixiviado

ETE Rosa Elze						
Ano	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	Receitas (R\$)	Total (R\$)	Total Descontado (R\$)	Total Descontado Acumulado (R\$)
0	-657.373	0	0	-657.373	-657.373	-657.373
1		-20.520	133.721	113.200	109.612	-547.760
2		-21.341	139.069	117.728	110.384	-437.376
3		-22.195	144.632	122.437	111.161	-326.216
4		-23.083	150.417	127.335	111.943	-214.272
5		-24.006	156.434	132.428	112.731	-101.541
6		-24.966	162.692	137.725	113.525	11.984
7		-25.965	169.199	143.234	114.324	126.307
8		-27.004	175.967	148.964	115.128	241.436
9		-28.084	183.006	154.922	115.939	357.375
10		-29.207	190.326	161.119	116.755	474.129
11		-30.375	197.939	167.564	117.577	591.706
12		-31.590	205.857	174.266	118.404	710.110
13		-32.854	214.091	181.237	119.238	829.348
14		-34.168	222.655	188.487	120.077	949.425
15		-35.535	231.561	196.026	120.922	1.070.347
16		-36.956	240.823	203.867	121.773	1.192.120
17		-38.434	250.456	212.022	122.630	1.314.750
18		-39.972	260.474	220.503	123.493	1.438.244
19		-41.571	270.893	229.323	124.363	1.562.606
20		-43.233	281.729	238.496	125.238	1.687.844
21		-44.963	292.998	248.035	126.120	1.813.964
22		-46.761	304.718	257.957	127.007	1.940.971
23		-48.632	316.907	268.275	127.901	2.068.872
24		-50.577	329.583	279.006	128.801	2.197.674
25		-52.600	342.767	290.166	129.708	2.327.382
26		-54.704	356.477	301.773	130.621	2.458.003
VPL					2.327.382	

Fonte: Autora (2020).

b) 1% de lixiviado

ETE Rosa Elze						
Ano	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	Receitas (R\$)	Total (R\$)	Total Descontado (R\$)	Total Descontado Acumulado (R\$)
0	-655.123	0	0	-655.123	-655.123	-655.123
1		-20.446	223.875	203.429	196.981	-458.141
2		-21.264	232.830	211.566	198.368	-259.774
3		-22.114	242.143	220.029	199.764	-60.009
4		-22.999	251.828	228.830	201.170	141.161
5		-23.919	261.902	237.983	202.586	343.747
6		-24.875	272.378	247.502	204.012	547.759
7		-25.870	283.273	257.402	205.448	753.207
8		-26.905	294.604	267.698	206.894	960.101
9		-27.982	306.388	278.406	208.350	1.168.451
10		-29.101	318.643	289.543	209.817	1.378.268
11		-30.265	331.389	301.124	211.294	1.589.562
12		-31.475	344.645	313.169	212.781	1.802.343
13		-32.734	358.430	325.696	214.279	2.016.621
14		-34.044	372.768	338.724	215.787	2.232.408
15		-35.406	387.678	352.273	217.306	2.449.714
16		-36.822	403.186	366.364	218.835	2.668.549
17		-38.295	419.313	381.018	220.375	2.888.924
18		-39.826	436.085	396.259	221.927	3.110.851
19		-41.419	453.529	412.109	223.489	3.334.340
20		-43.076	471.670	428.594	225.062	3.559.401
21		-44.799	490.537	445.738	226.646	3.786.047
22		-46.591	510.158	463.567	228.241	4.014.288
23		-48.455	530.565	482.110	229.848	4.244.136
24		-50.393	551.787	501.394	231.465	4.475.601
25		-52.409	573.859	521.450	233.095	4.708.696
VPL					4.708.696	

Fonte: Autora (2020).

c) 2% de lixiviado

ETE Rosa Elze						
Ano	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	Receitas (R\$)	Total (R\$)	Total Descontado (R\$)	Total Descontado Acumulado (R\$)
0	-662.771	0	0	-662.771	-662.771	-662.771
1		-21.416	407.813	386.398	374.151	-288.619
2		-22.272	424.126	401.853	376.785	88.165
3		-23.163	441.091	417.928	379.437	467.602
4		-24.090	458.734	434.645	382.107	849.710
5		-25.053	477.084	452.031	384.797	1.234.507
6		-26.055	496.167	470.112	387.505	1.622.012
7		-27.098	516.014	488.916	390.233	2.012.245
8		-28.181	536.654	508.473	392.980	2.405.225
9		-29.309	558.121	528.812	395.746	2.800.970
10		-30.481	580.445	549.964	398.531	3.199.502
11		-31.700	603.663	571.963	401.336	3.600.838
12		-32.968	627.810	594.841	404.161	4.004.999
13		-34.287	652.922	618.635	407.006	4.412.005
14		-35.659	679.039	643.380	409.871	4.821.876
15		-37.085	706.201	669.116	412.756	5.234.631
16		-38.568	734.449	695.880	415.661	5.650.292
17		-40.111	763.826	723.715	418.586	6.068.878
18		-41.715	794.380	752.664	421.533	6.490.411
19		-43.384	826.155	782.771	424.500	6.914.911
20		-45.119	859.201	814.081	427.488	7.342.399
21		-46.924	893.569	846.645	430.497	7.772.895
22		-48.801	929.312	880.510	433.527	8.206.422
23		-50.753	966.484	915.731	436.578	8.643.000
24		-52.783	1.005.144	952.360	439.651	9.082.651
25		-54.895	1.045.349	990.455	442.746	9.525.396
VPL					9.525.396	

Fonte: Autora (2020).

d) 3% de lixiviado

ETE Rosa Elze						
Ano	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	Receitas (R\$)	Total (R\$)	Total Descontado (R\$)	Total Descontado Acumulado (R\$)
0	-669.115	0	0	-669.115	-669.115	-669.115
1		-21.729	591.752	570.022	551.956	-117.159
2		-22.599	615.422	592.823	555.841	438.683
3		-23.503	640.039	616.536	559.754	998.436
4		-24.443	665.640	641.198	563.694	1.562.130
5		-25.420	692.266	666.846	567.661	2.129.791
6		-26.437	719.957	693.519	571.657	2.701.448
7		-27.495	748.755	721.260	575.680	3.277.128
8		-28.594	778.705	750.111	579.732	3.856.860
9		-29.738	809.853	780.115	583.813	4.440.673
10		-30.928	842.247	811.320	587.922	5.028.595
11		-32.165	875.937	843.772	592.060	5.620.655
12		-33.451	910.975	877.523	596.228	6.216.883
13		-34.790	947.414	912.624	600.424	6.817.307
14		-36.181	985.310	949.129	604.650	7.421.958
15		-37.628	1.024.723	987.094	608.906	8.030.864
16		-39.133	1.065.712	1.026.578	613.192	8.644.056
17		-40.699	1.108.340	1.067.641	617.508	9.261.564
18		-42.327	1.152.674	1.110.347	621.855	9.883.419
19		-44.020	1.198.781	1.154.761	626.232	10.509.650
20		-45.781	1.246.732	1.200.951	630.639	11.140.289
21		-47.612	1.296.601	1.248.989	635.078	11.775.368
22		-49.516	1.348.465	1.298.949	639.548	12.414.916
23		-51.497	1.402.404	1.350.907	644.050	13.058.966
24		-53.557	1.458.500	1.404.943	648.583	13.707.549
25		-55.699	1.516.840	1.461.141	653.148	14.360.697
VPL					14.360.697	

Fonte: Autora (2020).

e) 4% de lixiviado

ETE Rosa Elze						
Ano	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	Receitas (R\$)	Total (R\$)	Total Descontado (R\$)	Total Descontado Acumulado (R\$)
0	-675.435	0	0	-675.435	-675.435	-675.435
1		-23.305	775.690	752.386	728.540	53.105
2		-24.237	806.718	782.481	733.668	786.773
3		-25.206	838.987	813.780	738.832	1.525.604
4		-26.215	872.546	846.332	744.032	2.269.636
5		-27.263	907.448	880.185	749.269	3.018.906
6		-28.354	943.746	915.392	754.543	3.773.448
7		-29.488	981.496	952.008	759.854	4.533.302
8		-30.667	1.020.756	990.088	765.202	5.298.504
9		-31.894	1.061.586	1.029.692	770.588	6.069.093
10		-33.170	1.104.049	1.070.879	776.012	6.845.105
11		-34.497	1.148.211	1.113.715	781.474	7.626.579
12		-35.877	1.194.140	1.158.263	786.975	8.413.553
13		-37.312	1.241.905	1.204.594	792.514	9.206.067
14		-38.804	1.291.581	1.252.777	798.092	10.004.159
15		-40.356	1.343.245	1.302.889	803.709	10.807.868
16		-41.970	1.396.975	1.355.004	809.366	11.617.235
17		-43.649	1.452.854	1.409.204	815.063	12.432.298
18		-45.395	1.510.968	1.465.572	820.800	13.253.098
19		-47.211	1.571.406	1.524.195	826.577	14.079.676
20		-49.099	1.634.263	1.585.163	832.395	14.912.071
21		-51.063	1.699.633	1.648.570	838.254	15.750.326
22		-53.106	1.767.618	1.714.512	844.155	16.594.480
23		-55.230	1.838.323	1.783.093	850.096	17.444.576
24		-57.439	1.911.856	1.854.417	856.080	18.300.656
25		-59.737	1.988.330	1.928.593	862.105	19.162.761
VPL					19.162.761	

Fonte: Autora (2020).

f) 5% de lixiviado

ETE Rosa Elze						
Ano	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	Receitas (R\$)	Total (R\$)	Total Descontado (R\$)	Total Descontado Acumulado (R\$)
0	-682.986	0	0	-682.986	-682.986	-682.986
1		-24.269	959.629	935.360	905.715	222.729
2		-25.240	998.014	972.774	912.090	1.134.818
3		-26.250	1.037.935	1.011.685	918.509	2.053.328
4		-27.300	1.079.452	1.052.152	924.975	2.978.302
5		-28.392	1.122.630	1.094.238	931.485	3.909.787
6		-29.527	1.167.535	1.138.008	938.041	4.847.829
7		-30.708	1.214.237	1.183.528	944.644	5.792.473
8		-31.937	1.262.806	1.230.869	951.293	6.743.766
9		-33.214	1.313.319	1.280.104	957.989	7.701.755
10		-34.543	1.365.851	1.331.308	964.732	8.666.486
11		-35.925	1.420.485	1.384.561	971.522	9.638.008
12		-37.362	1.477.305	1.439.943	978.360	10.616.368
13		-38.856	1.536.397	1.497.541	985.247	11.601.615
14		-40.410	1.597.853	1.557.442	992.181	12.593.796
15		-42.027	1.661.767	1.619.740	999.165	13.592.961
16		-43.708	1.728.238	1.684.530	1.006.198	14.599.159
17		-45.456	1.797.367	1.751.911	1.013.280	15.612.439
18		-47.274	1.869.262	1.821.987	1.020.412	16.632.851
19		-49.165	1.944.032	1.894.867	1.027.594	17.660.445
20		-51.132	2.021.793	1.970.662	1.034.827	18.695.272
21		-53.177	2.102.665	2.049.488	1.042.111	19.737.383
22		-55.304	2.186.772	2.131.468	1.049.446	20.786.828
23		-57.516	2.274.243	2.216.726	1.056.833	21.843.661
24		-59.817	2.365.212	2.305.395	1.064.271	22.907.932
25		-62.210	2.459.821	2.397.611	1.071.762	23.979.694
VPL					23.979.694	

Fonte: Autora (2020).